



TUGAS AKHIR TF 141581

PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA POLIMER DAUR ULANG MENGUNAKAN KOMPOSIT CLAY

Anggit Irawan Noviaji
NRP 2414 105 030

Dosen Pembimbing
Dyah Sawitri, ST, MT
Lizda Johar Mawarani, ST, MT

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF 141581

***IMPROVEMENT OF MECHANICAL AND
THERMAL PROPERTIES OF RECYCLED
POLYMER USING COMPOSITE CLAY***

***Anggit Irawan Noviaji
NRP 2414 105 030***

***Supervisor
Dyah Sawitri, ST, MT
Lizda Johar Mawarani, ST, MT***

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016***

LEMBAR PENGESAHAN
PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL
PADA POLIMER DAUR ULANG MENGGUNAKAN
KOMPOSIT CLAY

TUGAS AKHIR

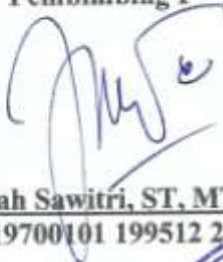
Oleh:

Anggit Irawan Noviaji

NRP : 2414 105 030

Surabaya, Agustus 2016

Pembimbing I



Dyah Sawitri, ST, MT
NIP. 19700101 199512 2 001

Pembimbing II



Lizda Johar Mawarani, ST, MT
NIP. 19740815 199703 2 001



Agus Muhammad Hatta ST, Msi, Ph. D
NIP. 19780902 200512 1 002

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL
PADA POLIMER DAUR ULANG MENGGUNAKAN
KOMPOSIT CLAY**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institt Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANGGIT IRAWAN NOVIAJI
NRP : 2414 105 030

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|---|-------|---------------------|
| 1. Dyah Sawitri, S.T., M.T. | | (Pembimbing 1) |
| 2. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. | | (Pembimbing 2) |
| 3. Dr. Ing. Doty dewi Risanti, S.T., M.T. | | (Ketua Tim Penguji) |
| 4. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. | | (Penguji 1) |
| 5. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. | | (Penguji 2) |

SURABAYA
Agustus 2016

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA POLIMER DAUR ULANG MENGGUNAKAN KOMPOSIT CLAY

Nama Mahasiswa : Anggit Irawan Noviaji
NRP : 2414 105 030
Jurusan : Teknik Fisika FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dyah Sawitri, ST, MT
Lizda Johar Mawarani, ST, MT

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pada bahan komposit berbasis polipropilena daur ulang dengan *filler clay* dengan dua macam ukuran partikel *clay* yaitu 1 μm dan 74 μm . Komposisi *clay* mempunyai variasi yaitu 3 %, 5%, dan 8 % berat. Sifat mekanik dan sifat termal pada polimer daur ulang umumnya mengalami penurunan, sehingga diharapkan dengan menjadikan polimer daur ulang tersebut menjadi komposit diharapkan akan meningkatkan sifat-sifat tersebut. Pengujian sifat mekanik dan termal dilakukan dengan tes DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*). Penambahan *clay* memperkecil massa jenisnya, sehingga material komposit menjadi lebih ringan. Untuk penambahan konsentrasi yang diberikan, maka massa jenis dari komposit polimer akan meningkat dengan kecenderungan untuk ukuran 1 μm memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel 74 μm dengan perbandingan pada variasi konsentrasi *clay* yang diberikan adalah sama. Dengan menambahkan *clay* ke dalam polipropilen akan meningkatkan sifat mekanik dan sifat termalnya. Sifat termal terbaik didapatkan pada penambahan konsentrasi *clay* 8% dengan ukuran partikel 74 μm dengan nilai Tg adalah 48°C. Sifat mekanik terbaik diperoleh pada penambahan konsentrasi *clay* 5% pada ukuran partikel 1 μm .

Kata kunci: *clay*, polimer, komposit, DMA.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYMER USING COMPOSITE CLAY

Name : Anggit Irawan Noviaji
NRP : 2414 105 030
Department : Engineering Physics, FTI – ITS
Supervisor : Dyah Sawitri, ST, MT
Lizda Johar Mawarani, ST, MT

Abstract

It has been conducted a research on composite materials based on recycled polypropylene with clay filler having two kinds of clay particle size i.e. 1 μm and 74 μm . The composition of clay was varied of 3%, 5% and 8% by weight. Mechanical properties and thermal properties of the recycled polymers are generally decreased, by recycling polymer into composite. It is expected improve making these properties will be improved. Mechanical properties and thermal tests were conducted by DMA (Dynamic Mechanical Analysis). The addition of clay reduces its density, thus composite materials become lighter. For all clay concentrations studied the density of composite having 1 μm clay always somewhat higher than those 74 μm size. By adding clay into polypropylene the mechanical properties and thermal properties will improved. Best thermal properties obtained for the addition of clay 8% with particle size of 74 μm with a Tg value is 48°C. Best mechanical properties obtained for the addition of clay 5% with particle size of 1 μm .

Key word: clay, polymer, composite, DMA

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang maha pengasih dan maha penyayang. Karena dengan limpahan rahmat ilmu, kekuatan, kesehatan, dan semangat sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul:” **PERBAIKAN SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA POLIMER DAUR ULANG MENGGUNAKAN KOMPOSIT CLAY**”. Shalawat dan salam tidak lupa selalu kita haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang sangat berjasa membawa umat Islam menuju jalan kebenaran yang penuh dengan rahmat Allah SWT.

Dalam pembuatan tugas akhir ini banyak sekali mendapat bantuan baik moril maupun materil dari berbagai pihak yang telah diberikan. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih dengan sangat atas bantuan dan motivasi.

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya.
2. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku dosen wali penulis.
3. Ibu Dyah Sawitri, S.T., M.T. dan Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.
4. Ibu Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Bahan Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya.
5. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Fisika ITS yang telah banyak membagikan ilmu dan pengalamannya.
6. Seluruh teman-teman Teknik Fisika ITS yang selalu memotivasi penulis.
7. Orang tua dan keluarga yang tak henti memberi dukungan dan doanya kepada penulis.
8. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Masih terdapat beberapa kekurangan yang terdapat pada penyusunan tugas akhir ini. Mudah-mudahan bisa

menjadi salah satu bahan referensi untuk pengembangan tugas akhir sejenis kedepannya. Semoga bisa menjadi berkah bagi semua yang membaca.

Surabaya, Agustus 2016

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II TEORI DASAR	3
2.1 Material Komposit	3
2.2 Polimer Polipropilena	5
2.3 Polimer Komposit	9
2.4 <i>Clay</i>	10
2.5 Pengujian DMA Material	12
2.6 Pengujian FTIR	15
2.7 Pengujian XRD	16
2.8 Pengujian PSA	19
2.9 Pengujian SEM	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Rancangan Penelitian	24
3.2 Persiapan Polimer Daur Ulang	25
3.3 Pembuatan <i>Microclay</i>	25
3.4 Percampuran <i>Microclay</i> dan Polimer Daur Ulang	26
3.5 Karakterisasi Sampel	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengujian Massa Jenis	31
4.2 Hasil Karakterisasi PSA dan FTIR	32
4.3 Hasil Pengujian <i>Dynamic Mechanical Analysis</i>	34
4.4 Pembahasan	38

BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN A HASIL PENGUJIAN XRD <i>CLAY</i>	
LAMPIRAN B HASIL PENGUJIAN PSA	
LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN FTIR	
LAMPIRAN D HASIL PENGUJIAN SEM	
LAMPIRAN E HASIL PENGUJIAN DMA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi geometri <i>filler</i> pada material komposit untuk jenis <i>particulate reinforced</i>	3
Gambar 2.2	Skema klasifikasi tipe komposit.....	4
Gambar 2.3	Struktur tiga dimensi dari polipropilena,.....	6
Gambar 2.4	Skema struktur <i>clay</i> 2:1	12
Gambar 2.5	Skema difraksi sinar-X pada XRD.....	17
Gambar 2.6	Prinsip kerja PSA	19
Gambar 2.7	Skema kerja SEM.....	21
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> pengerjaan tugas akhir	23
Gambar 3.2	Proses pengendapan <i>clay</i>	26
Gambar 3.3	Metode percampuran <i>microclay</i> dan polimer daur ulang	27
Gambar 3.4	Proses pembuatan larutan <i>microclay</i> yang dikondisikan	29
Gambar 4.1	Garfik perbandingan konsentrasi <i>clay</i> dan ukuran <i>clay</i> terhadap massa jenisnya	32
Gambar 4.2	Distribusi ukuran hasil PSA	33
Gambar 4.3	Hasil pengujian FTIR beberapa jenis sampel	33
Gambar 4.4	Hasil pengujian DMA PP.....	34
Gambar 4.5	Hasil pengujian DMA PP daur ulang	35
Gambar 4.6	Hasil pengujian DMA <i>clay</i> 3%, 1 μm	35
Gambar 4.7	Hasil pengujian DMA <i>clay</i> 3%, 74 μm	36
Gambar 4.8	Perbandingan nilai <i>storage modulus</i> pada sampel uji.	37
Gambar 4.9	Pergerakan laju dislokasi pada sampel dengan variasi konsentrasi <i>clay</i> yang diberikan.....	39
Gambar 4.10	Batas atas dan batas bawah dari percampuran polimer komposit.....	41
Gambar 4.11	Gambar hasil SEM komposit yang terbentuk.....	42

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Data Berdasarkan Variabel-Variabel yang Digunakan	25
Tabel 4.1	Data dan Hasil Perhitungan Massa Jenis Spesimen Uji	31
Tabel 4.2	Nilai Tg Masing-masing Sampel.....	37

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bidang material komposit akhir-akhir ini mendapat perhatian serius dari para ilmuwan. Berbagai penelitian pun terus dilakukan, mengacu pada ide yang sangat sederhana, yaitu menyusun sebuah material yang terdiri atas blok-blok partikel homogen dengan ukuran yang kecil. Sebuah material baru lahir dengan sifat-sifat fisis yang jauh lebih baik dari material penyusunnya. Hal ini memicu perkembangan material komposit di segala bidang dengan memanfaatkan ide yang sederhana itu.

Dewasa ini dengan pertumbuhan masyarakat yang cepat mengakibatkan produksi sampah terutama sampah plastik bertambah dengan cepat. Penanganan sampah plastik ini biasanya berupa daur ulang menjadi produk baru. Masalah yang timbul kemudian adalah bahwa terjadi penurunan kualitas produk daur ulang dari yang produk asalnya. *Polypropylene* daur ulang memiliki sifat mekanik yang menurun jika dibandingkan dari *polypropylene* murni^[1]

Secara konvensional, lempung (*clay*) sudah lama digunakan sebagai *filler* (bahan tambahan) dalam produk seperti cat, komposit, kosmetik, pelumas dan pemutihan/pemucatan pada minyak goreng. Pemanfaatan *clay* sebagai penguat pada komposit polimer pernah dibuat yaitu komposit dengan matrik poliamid (*nylon*) dan digunakan sebagai bahan komponen kendaraan oleh tim dari peneliti Toyota. Penambahan *clay* yang berukuran nano dalam matriks polimer dapat meningkatkan kekuatan sifat material polimer dalam bentuk komposit *clay*-polimer. Meningkatnya sifat mekanik pada komposit tersebut sangat bergantung pada pendispersian partikel *clay* dalam matrik polimer^[2]. Oleh karena sifat dari *clay* yang dapat memperbaiki sifat mekanik dan termal dari suatu material, maka pada tugas akhir ini akan membahas tentang peningkatan mutu polimer daur ulang khususnya pada peningkatan sifat mekanik dan termalnya dengan pemberian material *clay* yang digunakan sebagai komposit-polimer.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diambil dalam tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana perbandingan antara sifat mekanik dan sifat termal pada polimer daur ulang dan polimer daur ulang komposit *clay*?
- Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi *clay* yang diberikan terhadap sifat mekanik dan sifat termal polimer daur ulang komposit *clay*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini antara lain untuk:

- Mengetahui pengaruh komposisi *clay* terhadap sifat mekanik dan sifat termal pada komposit polimer daur ulang.
- Mendapatkan komposisi *clay* yang menghasilkan komposit polimer daur ulang dengan sifat mekanik dan sifat termal terbaik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

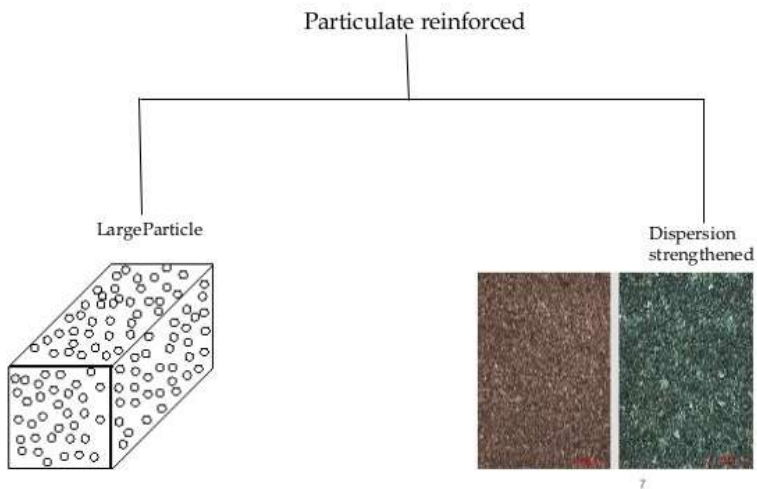
- Variasi ukuran *clay* yang digunakan adalah 1 μ m dan 74 μ m
- Variasi konsentrasi *clay* yang digunakan adalah 3%, 5%, 8%, merujuk pada penelitian sebelumnya.
- Sifat mekanik dan sifat termal dilakukan dengan menganalisa hasil pengujian DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*).

BAB II

TEORI DASAR

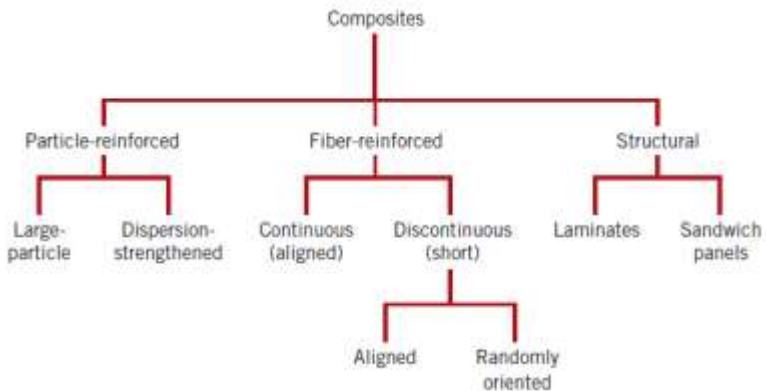
2.1 Material Komposit

Material komposit dapat didefinisikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih material yang menghasilkan sifat yang lebih baik dari pada material penyusunnya. Material komposit terdiri dari dua buah material penyusun yang disebut *filler* (bahan pengisi) dan matriks. *Filler* merupakan bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Serat yang sering digunakan dalam pembuatan komposit antara lain serat E-Glass, Boron, Carbon dan lain sebagainya. Sedangkan matriks merupakan material yang berfungsi untuk mengikat dan berada di sekeliling material *filler* sehingga menjadi struktur komposit. *Filler* atau fasa terdistribusi dapat memiliki geometrinya sendiri dimana geometri ini juga akan menentukan sifat dari komposit yang terbentuk. Geometri dari *filler* dapat mempunyai arti bentuk partikel, ukuran partikel, distribusi dan orientasinya. Geometri dari *filler* dapat dilihat pada gambar berikut.^[1]



Gambar 2.1 Representasi geometri *filler* pada material komposit untuk jenis *particulate reinforced*

Salah satu dari klasifikasi dari material komposit ditunjukkan pada gambar 2.2, dimana pada skema ini mengandung tiga bagian utama yaitu *particle reinforced*, *fiber-reinforced*, *struktural composite*. Fasa terdispersi pada *particle reinforced composite* memiliki dimensi partikel yang sama untuk setiap arahnya. Untuk *fiber-reinforced composite* fasa terdispersina memiliki dimensi yang memanjang seperti serat. *Structural composite* merupakan kombinasi dari material komposit dan material yang sejenis.^[3]



Gambar 2.2 Skema klasifikasi tipe komposit^[3]

Large-particle dan *dispersion-strengthened composite* merupakan bagian dari *particle-reinforced composite*. Perbedaan diantara keduanya yaitu pada mekanisme dasar penguatannya. *Large-particle* digunakan untuk menunjukkan bahwa interaksi partikel dan matriksnya tidak dilakukan dalam level atom atau molekul. Untuk *particle-reinforced composite*, fasa partikelnya harus lebih kuat dan lebih kaku dari pada matriksnya. Partikel penguat ini cenderung untuk menahan pergerakan dari fasa matriks di sekitar setiap partikelnya. Intinya adalah fasa matriks akan mentransfer beberapa tegangan yang dikenakan padanya ke partikel terdispersinya yang mana juga akan menanggung sebagian dari beban. Derajat penguatan atau perbaikan dari sifat mekaniknya tergantung dari kuatnya ikatan antara fasa matriks dan partikel yang terdispersi.

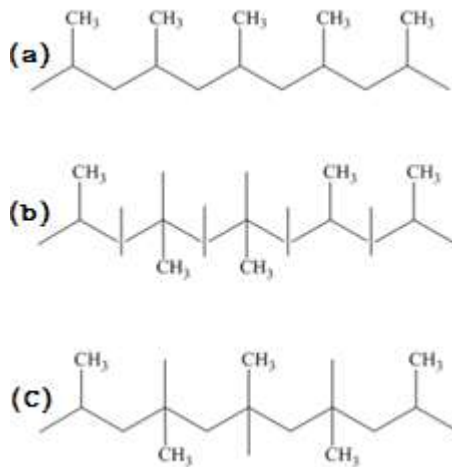
Untuk *dispersion-strengthened composite*, partikel yang terdistribusi normalnya berukuran kecil, dimana interaksi antara partikel dan matriks yang digunakan untuk penguatan berada pada level atom atau molekul. Mekanisme penguatannya mirip dengan mekanisme penguatan pada *precipitation hardening* dimana matriks cenderung memiliki porsi yang lebih dalam menanggung beban yang diberikan, partikel kecil yang terdispersi menghalangi atau menghambat pergerakan dari dislokasi. Hal ini akan meningkatkan sifat mekaniknya terutama pada kekuatan dan kekerasannya.

2.2 Polimer Polipropilena

Polimer merupakan istilah dari bahasa Yunani poly (banyak) dan meros (bagian, unit). Jadi polimer berarti bagian yang berulang-ulang, yakni molekul yang terdiri dari unit-unit yang sama berulang-ulang. Polietilen adalah molekul etilen dalam jumlah banyak bersambung berulang hingga mencapai ratusan ribu kali. Polimer disebut juga Polimer tinggi karena merupakan makromolekul. Makromolekul adalah molekul besar yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana atau disebut monomer. Molekul-molekul polimer umumnya mempunyai massa molekul yang sangat besar, seperti polimer poli feniletana mempunyai harga rata-rata massa molekul mendekati 300.000. Molekul-molekul polimer seringkali digambarkan sebagai molekul rantai atau rantai polimer. Struktur polimer dapat dipahami dengan mengidentifikasi monomer yang secara berulang-ulang menyusun polimer tersebut. Karena polimer merupakan molekul yang besar, maka polimer umumnya disajikan dengan menggambarkan hanya sebuah rantai. Sebuah rantai yang digambarkan tadi harus mencakup paling tidak satu satuan ulang yang lengkap.^[4]

Polipropilena merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Polipropilena berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Kristalinitas merupakan sifat penting yang terdapat pada polimer. Kristalinitas merupakan ikatan antara rantai molekul sehingga menghasilkan susunan

molekul yang lebih teratur. Pada polimer propilena, rantai polimer yang terbentuk dapat tersusun membentuk daerah kristalin (molekul tersusun teratur) dan bagian lain membentuk daerah amorf (molekul secara tidak teratur). Untuk polipropilena struktur zig-zag planar dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda-beda tergantung pada posisi relatif gugus metana satu sama lain di dalam rantai polimernya. Ini menghasilkan struktur isotaktik, ataktik dan sindiotaktik.



Gambar 2.3 Struktur tiga dimensi dari polipropilena,
(a) isotaktik, (b) ataktik, dan (c) sindiotaktik^[3]

Ketiga struktur polipropilena tersebut pada dasarnya secara kimia berbeda satu sama lain. Polipropilena ataktik tidak dapat berubah menjadi polipropilena sindiotaktik atau menjadi struktur lainnya tanpa memutuskan dan menyusun kembali beberapa ikatan kimia. Struktur yang lebih teratur memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk berkristalisasi dari pada struktur yang tidak teratur. Jadi, struktur isotaktik dan sindiotaktik lebih cenderung membentuk daerah kristalin daripada ataktik. Polipropilena berstruktur stereogular seperti isotaktik dan sindiotaktik adalah sangat kristalin, bersifat keras dan kuat.

Dalam struktur polipropilena ataktik gugus metana bertindak seperti cabang-cabang rantai pendek yang muncul pada sisi rantai secara acak. Ini mengakibatkan sulitnya untuk mendapatkan daerah-daerah rantai yang sama (tersusun) sehingga mempunyai sifat kristalin rendah menyebabkan tingginya kadar oksigen pada bahan tersebut sehingga bahan polimer ini mudah terdegradasi oleh pengaruh lingkungan seperti kelembaban cuaca, radiasi sinar matahari dan lain sebagainya.

Polipropilena merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan dengan densitas $0,90 \text{ g/cm}^3 - 0,92 \text{ g/cm}^3$, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang paling tinggi serta bersifat kurang stabil terhadap panas dikarenakan adanya hidrogen tersier. Penggunaan bahan pengisi dan penguat memungkinkan polipropilena memiliki mutu kimia yang baik sebagai bahan polimer dan tahan terhadap pemecahan karena tekanan (*stress – cracking*) walaupun pada temperature tinggi.

Kerapuhan Polipropilena dibawah 0°C dapat dihilangkan dengan penggunaan bahan pengisi. Dengan bantuan pengisi dan penguat, akan terdapat adhesi yang baik. Polimer yang memiliki konduktivitas panas rendah seperti Polipropilena (konduktivitas = $0,12 \text{ W/m}$) kristalinitasnya sangat rentan terhadap laju pendinginan. Misalnya dalam suatu proses pencetakan termoplastik membentuk barang jadi yang tebal dan luas, bagian tengah akan menjadi dingin lebih lambat daripada bagian luar, yang bersentuhan langsung dengan cetakan. Akibatnya, akan terjadi perbedaan derajat kristalinitas pada permukaan dengan bagian tengahnya.^[5]

Polipropilena mempunyai tegangan (*tensile*) yang rendah, kekuatan benturan (*impact strength*) yang tinggi dan ketahanan yang tinggi terhadap pelarut organik. Polipropilena juga mempunyai sifat isolator yang baik mudah diproses dan sangat tahan terhadap air karena sedikit sekali menyerap air, dan sifat kekakuan yang tinggi. Seperti polyolefin lain, Polipropilena juga mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap bahan kimia anorganik non pengoksidasi, deterjen, alkohol dan sebagainya. Tetapi polipropilena dapat terdegradasi oleh zat pengoksidasi seperti asam nitrat dan hidrogen peroksida. Sifat kristalinitasnya

yang tinggi menyebabkan daya regangannya tinggi, kaku dan keras.^[6]

Karena polipropilena tebal dari leleh, kebanyakan *living hinge* (engsel fleksibel tipis yang terbuat dari plastik yang menghubungkan dua bagian dari plastik yang kaku), seperti yang ada di botol dengan tutup *flip top*, dibuat dari bahan ini. Lembar propilena yang sangat tipis dipakai sebagai dielektrik dalam pulsa berdaya tinggi tertentu serta kondensator frekuensi radio yang kehilangan frekuensinya rendah.

Kebanyakan barang dari plastik untuk keperluan medis atau laboratorium bisa dibuat dari polipropilena karena mampu menahan panas di dalam autoklaf. Sifat tahan panas ini menyebabkannya digunakan sebagai bahan untuk membuat ketel (ceret) tingkat-konsumen. Wadah penyimpan makan yang terbuat darinya takkan meleleh di dalam mesin cuci piring dan selama proses pengisian panas industri berlangsung. Untuk alasan inilah, sebagian besar tong plastik untuk produk susu perahan terbuat dari propilena yang ditutupi dengan foil aluminium (keduanya merupakan bahan tahan-panas). Seusai produk didinginkan, tabung sering diberi tutup yang terbuat dari bahan yang kurang tahan panas, seperti polietilena berdensitas rendah (LDPE) atau polistirena. Wadah seperti ini merupakan contoh yang bagus mengenai perbedaan modulus, karena tampak jelas beda kekenyalan LDPE (lebih lunak, lebih mudah dilenturkan) dengan PP yang tebalnya sama. Jadi wadah penyimpan makanan dari polipropilena sering memiliki tutup yang terbuat dari LDPE yang lebih fleksible agar bisa tertutup rapat-rapat. Polipropilena juga bisa dibuat menjadi botol sekali pakai untuk menyimpan produk konsumen berbentuk cairan atau tepung, maksi HDPE dan polietilena tereftalatlah yang umum dipakai untuk membuat botol semacam itu. Ember plastik, baterai mobil, kontainer penyejuk, piring, dan kendi sering terbuat dari polipropilena atau HDPE, keduanya memiliki penampilan, rasa, serta sifat yang hampir sama pada suhu ambien.

Polipropilena merupakan sebuah polimer utama dalam barang-barang tak tertentun. Sekitar 50% digunakan dalam popok atau berbagai produk sanitasi yang dipakai untuk menyerap air

(hidrofil), bukan yang secara alami menolak air (hidrofobik). Penggunaan tak tertentu lainnya yang menarik adalah saringan udara, gas, dan cair dimana serat bisa dibentuk menjadi lembaran atau jaring yang bisa dilipat untuk membentuk kartrij atau lapisan yang menyaring dalam batas-batas 0,5 sampai 30 mikron. Aplikasi ini bisa ditemukan di dalam rumah sebagai saringan air atau saringan tipe pengondisian udara. Wilayah permukaan tinggi serta polipropilena hidrofobik alami yang tak tertentun merupakan penyerap tumpahan minyak yang ideal dengan perintang apung yang biasanya diletakkan di dekat tumpahan minyak di sungai.

2.3 Polimer Komposit

Polimer komposit dibuat dengan mengkombinasikan polimer dan sintesis atau natural inorganik *filler*. Dengan penambahan *filler* ke matriks polimer akan menyebabkan sifat dari komposit tersebut yang umumnya meningkat, seperti sifat mekanik dan sifat termalnya. Akan tetapi, penambahan *filler* ini dapat menyebabkan timbulnya sifat yang tidak diinginkan, jika komposisi yang digunakan tidak sesuai, sifat yang tidak diinginkan tersebut yaitu kerapuhan dan kehilangan sifat optiknya.^[7]

Sifat akhir yang diperoleh pada polimer komposit dipengaruhi oleh sifat alami dari polimer tersebut, sifat dan kandungan dari isi komponen, dimensi dari komponen dan struktur mikro dari komposit serta interaksi yang terjadi diantara matriks dan fasa terdispersinya. Efisiensi perbaikan sifatnya tergantung dari sifat-sifat mekanik *fillernya* dan juga adhesi antara matriks dan *filler* pada rasio *filler* yang dipakai. Aspek rasio dari *filler* sangat penting dan krusial untuk banyak dari sifat komposit yang dihasilkan seperti sifat elektrik, mekanik dan termalnya. Polimer komposit dengan rasio aspek yang tinggi dari *nano-filler* seperti *clay*, *carbon nanotube*, dan *nanofiber* memiliki banyak fungsi yang unik dalam peningkatan sifatnya. Kombinasi dari ukuran dimensi *filler* yang berukuran nano dan aspek rasio yang tinggi dengan pendispersian *nanoscale* pada matriks polimer untuk peningkatan sifat polimer secara signifikan pada fraksi volume *filler* yang sangat rendah.^[4]

Sebuah nanokomposit didefinisikan sebagai komposit material yang salah satu dimensi komponennya dalam skala nano. Penggunaan material alami dan polimer seperti karbohidrat, lemak, dan protein alami membuat kuat nanokomposit seperti halnya tulang, kerangka dan kayu^[8]. Dengan salah satu *fillernya* yang berukuran nanometer, maka luasan kontak antara matriks dan *filler* akan semakin besar, hal ini akan meningkatkan sifat yang dimiliki polimer komposit tersebut meskipun menggunakan fraksi *filler* yang rendah.

Dalam material komposit terdapat istilah *rule of mixtures*, ini berarti bahwa hasil percampuran komposit tersebut harus sesuai dengan teori yang ada. Untuk mengetahui atau memperkirakan nilai *storage modulus* (E') dari percampuran material komposit dapat diprediksi menggunakan persamaan berikut.

$$Ec(u) = EmVm + EpVp \quad (2.1)$$

$$Ec(l) = \frac{EmEp}{VmEp + VpEm} \quad (2.2)$$

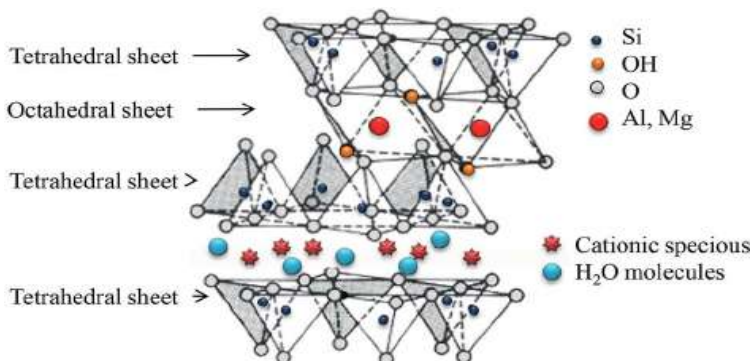
Keterangan:

$Ec(u)$	= batas atas <i>storage modulus</i> (MPa)
$Ec(l)$	= batas bawah <i>storage modulus</i> (MPa)
Em	= <i>storage modulus filler</i> (MPa)
Ep	= <i>storage modulus polymer</i> (MPa)
Vm	= fraksi volume <i>filler</i>
Vp	= fraksi volume <i>polymer</i>

2.4 Clay

Tanah liat atau *clay* merupakan bagian dari faksi tanah dengan ukuran partikel yang kecil. Lapisan tanah liat memiliki ketebalan sekitar 1 nm dalam skala strukturnya. Beberapa bagian dari *clay* strukturnya dapat dibenggangkan sehingga dapat dijadikan sebagai *nanofiller* pada material komposit. Pembengangan pada struktur *clay* ini dapat digunakan sebagai tempat masuknya struktur matriks, misalnya polimer, yang demikian sehingga struktur ikatannya akan menjadi kuat. Dengan adanya ikatan yang kuat ini, akan menyebabkan peningkatan sifat yang dramatis jika dibandingkan dengan sifat aslinya.^[5]

Clay memiliki struktur berlapis. Lapisan ini dibangun dari lapisan tetrahedral dimana silikon dikelilingi oleh empat atom oksigen dan lapisan oktahedral dimana logam seperti aluminium atau magnesium dikelilingi oleh delapan atom oksigen. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon yang mengapit satu lapis oksida aluminium. Mineral lempung golongan 2:1 memiliki sifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan memuai saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah dapat membentuk kerutan-kerutan atau "pecah-pecah" bila kering. Pada lapisan-lapisan yang menyusun *clay* akan terdapat jarak antar lapisannya. Jarak ini dinamakan *inter layer* atau galeri. Ketebalannya akan terus berulang untuk lapisan berikutnya. Dimensi galeri juga bergantung pada sifat dan pembengggangan dari *clay* tersebut. Gaya elektrostatis dan gaya van der Waals yang menahan antar lapisan memiliki kekuatan yang kecil. Karena adanya jarak antar lapisan dan gaya antar lapisan yang lemah, maka akan mengakibatkan kation yang berada dalam lapisan dapat terhidrasi dalam larutan dengan mudah, inilah yang disebut dengan pembengggangan. Pembengggangan terjadi akibat meningkatnya jarak antar lapisan. Densitas muatan pada tiap lapisannya akan berbeda untuk jenis *clay* yang berbeda. Dengan adanya jarak dan gaya yang lemah antar lapisan akan memungkinkan molekul lain untuk mengisi bagian antar lapisan tersebut. Hal ini juga dapat mengakibatkan lapisan tersebut menjadi terpisah sehingga menjadikannya lembaran-lembaran yang tidak saling terikat.^[8]



Gambar 2.4 Skema struktur *clay* 2:1

Struktur lapisan 2:1 dari *clay* ini memiliki dimensi ketebalan sekitar 1nm dan panjang lateral mulai dari 30 nm sampai beberapa mikron, tergantung dari sumber dan perlakuan yang diterima oleh *clay* tersebut. Aspek dimensi ini sangat penting dalam penentuan sifat dari komposit polimer-clay yang dihasilkan. Karena luas permukaannya yang besar dan karena persebarannya yang banyak, maka gaya internal untuk terjadinya aglomerasi juga meningkat. Oleh karena itu, lapisan pada *clay* cenderung akan terus bersama dan membentuk sebuah agregat. Beberapa lapisan tersebut memiliki tebal sekitar 10 nm.

2.5 Pengujian DMA Material

Metode termal seperti *differential scanning calorimetry* (DSC), *thermogravimetric analysis* (TGA), *thermomechanical analysis* (TMA) dan *dynamic mechanical analysis* (DMA) merupakan teknik untuk mencirikan morfologi dan komposisi material (bahan). Hal ini sering dilakukan untuk mengidentifikasi zat dengan mengacu pada karakteristik perubahan suhu suatu material. Dengan mengamati perubahan sifat yang diukur dengan suhu (misalnya. entalpi, berat, panjang, kekakuan dll), seseorang mungkin dapat mengukur derajat kristalinitas, komposisi atau kepadatan. sistem multi-fase akan memberikan respon kombinasi dimana memungkinkan untuk memperkirakan jumlah setiap komponen. Metode termal konvensional hanya memberikan respon rata-rata spesimen yaitu mereka tidak dapat memberikan

informasi mengenai distribusi fase dalam rangka untuk mendapatkan informasi tentang sampel, sehingga penelitian harus menggunakan mikroskop.

Dynamic Mechanical Spectrometer (DMS) atau lebih dikenal dengan *Dynamic Mechanical Analysis* (DMA) adalah salah satu uji polimer yang berfungsi mengukur viskoelastik suatu sampel yang diukur sebagai fungsi frekuensi, waktu, suhu, tegangan, regangan dan lingkungan. Penggunaan DMA khususnya pengukuran stress sinuisoidal dan strain dalam suatu material, memudahkan dalam pengukuran modulus yang kompleks. Variasi pada modulus kompleks dapat terjadi akibat perubahan suhu ataupun frekuensi. Keadaan tersebut sangat berguna dalam penentuan temperatur transisi glass (T_g) dari suatu materi.

Pada instrument DMA, karakterisasi suatu material dapat mencakup fungsi yang sangat luas. Antara lain, dapat melakukan pengukuran statis *viscoelasticity*, *stress relaxation*, dan *dynamic viscoelasticity*. Relaksasi dari suatu material dapat ditentukan menggunakan DMA. Hal ini dikarenakan DMA mempunyai sensitivitas yang tinggi dan adanya *synthetic oscillation* mode dalam DMA sangat memudahkan untuk mengukur modulus transformasi secara cepat yang dilakukan dalam variasi frekuensi^[9].

Pengukuran sifat mekanik materi menggunakan DMA mengikuti Hukum Hooke dimana materi diibaratkan sebuah pegas. Dalam Hukum Hooke, *elastic* atau *Young Modulus* (E) diperoleh pada sampel yang lunak dengan teknik bending atau tension. Teknik ini memungkinkan sifat *shear mode* dan *shear Modulus* (G) diperoleh dengan tepat.

$$\sigma(t) = E^* (\omega) \varepsilon(t) \quad (2.3)$$

$$E^* (\omega) = E'(\omega) + iE''(\omega) \quad (2.4)$$

$$\tan \sigma = \frac{E''}{E'} \quad (2.5)$$

Keterangan:

E^* = *Young Modulus*
 σ = *Stress Oscillation*
 ε = *Strain Amplitude*
 E' = *Storage Modulus*
 E'' = *Loss Modulus*
 \tan = *Phase Angle*

Umumnya, nilai E' , E'' , dan \tan dibuat berlawanan dengan temperature dan waktu. DMA adalah instrument yang memiliki sensitivitas yang baik dalam pengukuran nilai T_g dari polimer. Pergerakan rantai samping dan rantai induk dari area polimer yang spesifik ataupun *local relaxation mode* yang tidak dapat diukur dengan DSC dapat diamati dengan DMA. Dalam pengujian DMA akan terjadi penurunan *storage modulus* karena pengaruh penambahan suhu yang diberikan. Penurunan ini dalam kekuatan dapat menyebabkan masalah serius jika terjadi pada suhu yang berbeda dari yang diharapkan. Salah satu keuntungan dari DMA adalah bahwa kita dapat memperoleh modulus setiap kali gelombang sinus diterapkan, hal itu memungkinkan kita untuk melakukan pengujian di suhu atau rentang frekuensi yang diinginkan. Jadi jika kita menjalankan eksperimen di siklus 1 Hz atau 1 / detik, kita akan mampu merekam nilai modulus setiap detik. Hal ini dapat dilakukan sambil memvariasikan suhu di beberapa tingkat, seperti 10 °C / menit, sehingga perubahan suhu per siklus dapat terjadi tidak signifikan. DMA dapat merekam modulus sebagai fungsi temperatur lebih dari 200 °C dalam 20 menit. Demikian pula, kita dapat memindai frekuensi atau geser rentang dari 0,01 sampai 100 Hz di kurang dari 2 jam. Dalam pendekatan tradisional, kita harus menjalankan percobaan pada setiap tingkat suhu atau regangan untuk mendapatkan data yang sama. Untuk pemetaan modulus atau viskositas sebagai fungsi temperatur, ini akan membutuhkan proses dan waktu yang lama

2.6 Pengujian FTIR

Prinsip kerja spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Misalkan dalam suatu percobaan berupa molekul senyawa kompleks yang ditembak dengan energi dari sumber sinar yang akan menyebabkan molekul tersebut mengalami vibrasi. Sumber sinar yang digunakan adalah keramik, yang apabila dialiri arus listrik maka keramik ini dapat memancarkan infrared. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar infrared tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda pula. FTIR interferogramnya menggunakan mecrosem dan letak cerminnya (fixed mirror dan moving mirror) paralel. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ di mana cm^{-1} disebut sebagai wavenumber ($1/\text{wavelength}$) yakni suatu ukuran unit untuk frekuensi. Daerah panjang gelombang yang digunakan pada percobaan ini adalah daerah inframerah pertengahan ($4.000 - 200 \text{ cm}^{-1}$).

Interaksi antara materi berupa molekul senyawa kompleks dengan energi berupa sinar infrared mengakibatkan molekul-molekul bervibrasi dimana besarnya energi vibrasi tiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga akan dihasilkan frekuensi yang berbeda.

Analisis menggunakan FTIR dapat digunakan untuk mengetahui sifat termal bahan dari suatu lapisan tipis misalnya. Dari hasil analisis spektrum FTIR didapatkan analisa tentang disosiasi ligan suatu bahan penumbuhan lapisan tipis secara sempurna. Misalkan disosiasi ligan berawal pada temperatur 300°C sampai 400°C . Hasil ini menyarankan nilai besaran temperatur substrat saat penumbuhan dimana lapisan akan tumbuh diawali pada temperatur 300°C sampai temperatur 400°C . FTIR digunakan untuk melakukan analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra

vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas.

Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 0.78 – 1000 μm .

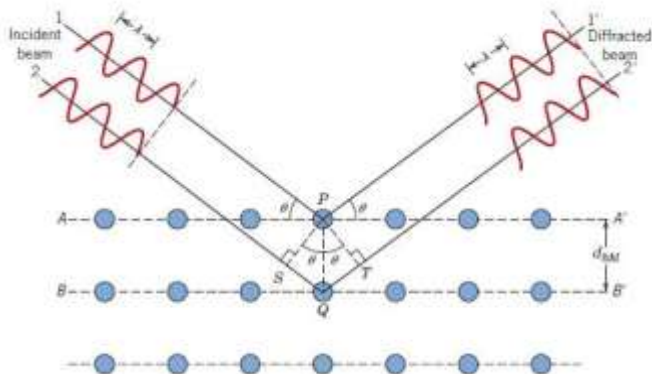
2.7 Pengujian XRD

Proses analisis menggunakan X-ray diffraction (XRD) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-10} s/d 5^{-10} nm, berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Sinar X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran. Oleh karena itu, suatu tabung sinar X harus mempunyai suatu sumber elektron, voltase tinggi, dan logam sasaran. Selanjutnya elektron elektron yang ditumbukan ini mengalami pengurangan kecepatan dengan cepat dan energinya diubah menjadi foton.

Sinar X ditemukan pertama kali oleh *Wilhelm Conrad Rontgen* pada tahun 1895, di Universitas Wurtzburg, Jerman. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar X. Untuk penemuan ini Rontgen mendapat hadiah nobel pada tahun 1901, yang merupakan hadiah nobel pertama di bidang fisika. Sejak ditemukannya, sinar-X telah umum digunakan untuk tujuan pemeriksaan tidak merusak pada material maupun manusia.

Disamping itu, sinar-X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material. Pengujian dengan menggunakan sinar X disebut dengan pengujian XRD (X-Ray Diffraction).

XRD digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5 sampai 2.5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi.



Gambar 2.5 Skema difraksi sinar-X pada XRD

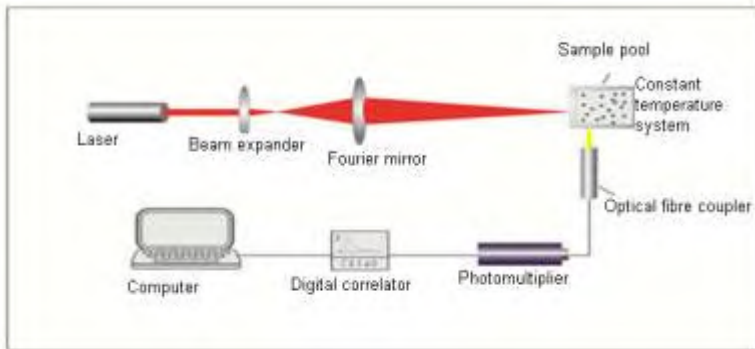
$$n\lambda = SQ + QT \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} n\lambda &= d_{hkl}\sin\theta + d_{hkl}\sin\theta \\ &= 2d_{hkl}\sin\theta \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dari metode difraksi kita dapat mengetahui secara langsung mengenai jarak rata-rata antar bidang atom. Kemudian kita juga dapat menentukan orientasi dari kristal tunggal. Secara langsung mendeteksi struktur kristal dari suatu material yang belum diketahui komposisinya. Kemudian secara tidak langsung mengukur ukuran, bentuk dan internal stres dari suatu kristal. Prinsip dari difraksi terjadi sebagai akibat dari pantulan elastis yang terjadi ketika sebuah sinar berinteraksi dengan sebuah target. Pantulan yang tidak terjadi kehilangan energi disebut pantulan elastis (elastic scattering). Ada dua karakteristik utama dari difraksi yaitu geometri dan intensitas. Geometri dari difraksi secara sederhana dijelaskan oleh **Bragg's Law** (Lihat persamaan 2.7). Misalkan ada dua pantulan sinar α dan β . Secara matematis sinar β tertinggal dari sinar α sejauh $SQ+QT$ yang sama dengan $2d \sin \theta$ secara geometris. Agar dua sinar ini dalam fasa yang sama maka jarak ini harus berupa kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang sinar λ . Maka didapatkanlah Hukum Bragg: $2d \sin \theta = n\lambda$. Secara matematis, difraksi hanya terjadi ketika Hukum Bragg dipenuhi. Secara fisis jika kita mengetahui panjang gelombang dari sinar yang membentur kemudian kita bisa mengontrol sudut dari benturan maka kita bisa menentukan jarak antar atom (geometri dari latis). Persamaan ini adalah persamaan utama dalam difraksi. Secara praktis sebenarnya nilai n pada persamaan Bragg diatas nilainya 1. Sehingga cukup dengan persamaan $2d \sin \theta = \lambda$. Dengan menghitung d dari rumus Bragg serta mengetahui nilai h, k, l dari masing-masing nilai d , dengan rumus-rumus yang telah ditentukan tiap-tiap bidang kristal kita bisa menentukan latis parameter (a, b dan c) sesuai dengan bentuk kristalnya.

2.8 Pengujian PSA

Perkembangan ilmu pengetahuan yang mengarah ke era nanoteknologi, para peneliti mulai menggunakan metode *laser diffraction (LAS)* yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi bila dibandingkan dengan metode analisa gambar maupun metode ayakan (*sieve analysis*). Metode ini menjadi prinsip dasar dalam instrumen *Particle Size Analyzer (PSA)*. Prinsip dari *Laser Diffraction* sendiri ialah ketika partikel-partikel melewati berkas sinar laser dan cahaya dihamburkan oleh partikel-partikel tersebut dikumpulkan melebihi rentang sudut yang berhadapan langsung. Distribusi dari intensitas yang dihamburkan ini yang akan dianalisis oleh komputer sebagai hasil distribusi ukuran partikel.^[9]



Gambar 2.6 Prinsip kerja PSA

Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA biasanya menggunakan metode basah. Metode ini dinilai lebih akurat jika dibandingkan dengan metode kering ataupun pengukuran partikel dengan metode ayakan dan analisa gambar. Terutama untuk sampel-sampel dalam orde nanometer yang cenderung memiliki aglomerasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga partikel tidak saling aglomerasi. Dengan demikian, ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*. Selain itu hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel.

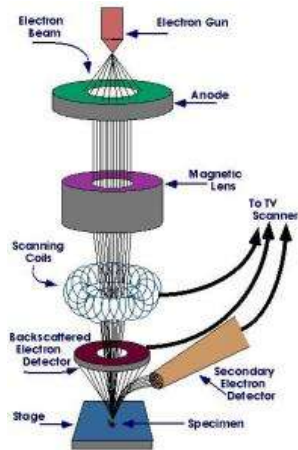
Melalui analisis *Particle Size Analyzer* (PSA) diharapkan distribusi ukuran nanopartikel kitosan yang dihasilkan berada pada rentang nanometer dengan keseragaman ukuran yang baik.

Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer* (PSA) dalam mengetahui ukuran partikel antara lain mudah digunakan, mampu mengukur dalam rentang 0,6 nanometer hingga 7 mikrometer dan lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti TEM ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel dari sampel yang akan diuji didispersikan ke dalam sebuah media sehingga ukuran partikel yang terukur merupakan ukuran partikel tunggal. Selain itu, hasil pengukuran disajikan dalam bentuk distribusi, sehingga mampu menjelaskan keseluruhan kondisi sampel atau penyebaran ukuran rata-rata partikel dalam suatu sampel.^[10]

2.9 Pengujian SEM

Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer adalah metode analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk analisis morfologi atau menggambarkan permukaan suatu objek atau material.

SEM menggunakan elektron berenergi tinggi yang ditembakkan ke permukaan material dan permukaan material yang terkena berkas elektron berenergi tinggi tersebut akan dipantulkan kembali sehingga menghasilkan elektron sekunder yang menuju ke segala arah. Intensitas pantulan dengan tingkat energi tertinggi kemudian akan ditangkap oleh detektor sehingga diperoleh informasi mengenai morfologi material seperti kelandaian, permukaan, dan arah kemiringan. Untuk memperoleh pencitraan yang baik, permukaan material haruslah dilapisi dengan logam sehingga dihasilkan elektron sekunder ketika ditembakkan dengan berkas elektron berenergi tinggi. Akan tetapi, bila material yang diamati berasal dari logam maka tidak perlu dilakukan pelapisan dengan logam lagi.



Gambar 2.7 Skema kerja SEM

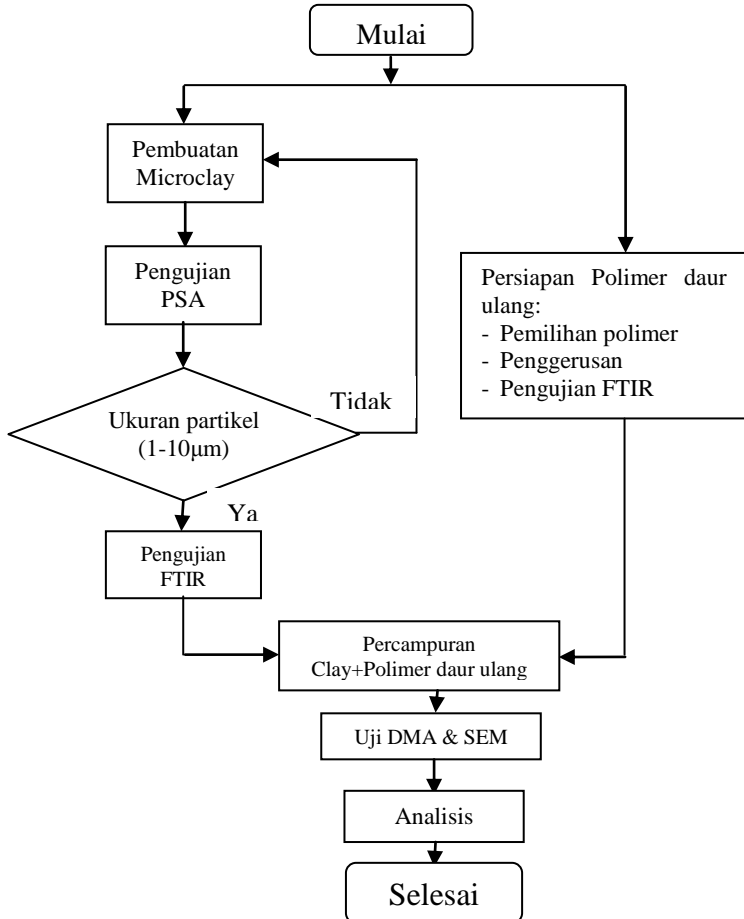
Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah suatu instrumen yang menghasilkan seberkas elektron pada permukaan spesimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Penggunaan alat *Scanning Electron Microscopy* dalam morfologi kopolimer telah dikembangkan secara luas. Pada prinsipnya SEM terdiri dari kolom elektron (*electron coloum*), ruang sampel (*specimen chamber*) dan sistem vakum (*vacuum system*).

Prinsip analisis SEM adalah dengan menggunakan alat sinyal elektron sekunder. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghasilkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan untuk menghasilkan sinyal. Sinyal ini digunakan untuk mengatur intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur dan distribusinya, dan morfologi dari permukaan bahan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini berisi tentang langkah-langkah yang dikerjakan dalam penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan *flowchart* dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 3.1 *Flowchart* pengerjaan tugas akhir

Pada metodologi penelitian ini, yang pertama kali dilakukan yaitu mengadakan studi literatur tentang pengetahuan yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Kemudian dilakukan pembuatan mikroclay. Setelah mikroclay dibuat, maka dilakukan karakterisasi yang berupa pengujian ukuran partiel menggunakan uji PSA dan karakterisasi gugus-gugus ikatan kimia yang terkandung di dalam mikroclay tersebut menggunakan uji FTIR. Pada pengujian PSA ini diharapkan terbentuk mikroclay dengan ukuran partikel 1 μ m sampai 10 μ m. Langkah selanjutnya yaitu mencampurkan mikroclay yang telah dibuat dengan polimer daur ulang, dimana polimer daur ulang yang dipakai menggunakan jenis polipropilena yang telah menjadi barang yang terpakai selama lebih dari 5 tahun dengan keadaan yang telah rusak. Setelah tercampur, maka akan dilakukan pengujian termal dan pengujian mekanik yang berupa pengujian DMA. Kemudian setelah dilakukan pengujian DMA, maka hasilnya akan dibandingkan dengan hasil uji DMA pada polimer daur ulang dan polipropilena murninya. Hasilnya kemudian dianalisis untuk didapatkan kesimpulan.

3.1 Rancangan Penelitian

Pada rancangan penelitian ini berisi tentang penentuan variabel-variabel yang dipakai. Variabel-variabel yang dipakai yaitu:

- Variabel bebas : Konsentrasi *microclay* yang dicampurkan yaitu pada konsentrasi 3%, 5% dan 8%.
Ukuran partikel *clay* yang digunakan sebagai campuran yaitu 1 μ m dan yang lolos saringan 74 μ m.
- Variabel terikat : Sifat mekanik dan sifat termal
- Variabel kontrol : Sifat polimer daur ulang dan sifat asli polipropilena.

Secara umum tabel data variabel-variabel tersebut yaitu:

Tabel 3.1 Tabel Data Berdasarkan Variabel-Variabel yang Digunakan

No	Konsentrasi <i>Microclay</i> (%)	Sifat Mekanik	Sifat Termal	Uji Densitas
1	3_1 μ m	T3	L3	D3
2	3_74 μ m	T4	L4	D4
3	5_1 μ m	T5	L5	D5
4	5_74 μ m	T6	L6	D6
5	8_1 μ m	T7	L7	D7
6	8_74 μ m	T8	L8	D8
7	Polimer daur ulang	Tm	Lm	Dm
8	Polipropilena	Tt	Lt	Dt

3.2 Persiapan Polimer Daur Ulang

Persiapan polimer daur ulang yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah polipropilena bekas berbentuk ember yang telah rusak dengan masa pakai kurang lebih lima tahun. Sebelum digunakan dalam pembuatan sampel, polimer daur ulang tersebut dibersihkan dan dihancurkan hingga ukuran kecil dengan menggunakan blender. Ukuran polimer daur ulang tersebut dibuat kecil agar mempermudah dalam proses percampuran.

3.3 Pembuatan *Microclay*

Langkah pertama yang dilakukan setelah diadakan studi literatur yaitu pembuatan *microclay*. *Clay* yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu diambil dari desa Sokka, kecamatan Pejagoan, kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Pembuatan *microclay* meliputi bagaimana cara terbaik dalam mendapatkan ukuran mikro pada material yang akan dikompositkan dengan polimer. Ukuran yang diharapkan yaitu dalam rentang 1 μ m -10 μ m. *Clay* yang didapatkan dari alam biasanya masih terdapat kandungan air yang banyak, sehingga perlu untuk dikurangi kandungan airnya terlebih dahulu. Untuk mengurangi kandungan airnya, maka diperlukan pengeringan dengan cara diopen pada

suhu 170 °C sampai kering dengan lama waktu pengeringan tergantung dari jumlah yang dikeringkan. Sedangkan ukuran yang diharapkan didapatkan dengan menghaluskan *clay* hingga menjadi serbuk, kemudian melarutkan serbuk *clay* ke dalam akuades dengan perbandingan 20 gram serbuk *clay* dengan akuades 300 ml. Kemudian dibiarkan agar mengendap selama 20 menit. Hasil campuran tersebut yang belum mengendap dipisahkan ke wadah lain untuk diendapkan lagi. Setelah 15 menit, diambil campuran *clay* dan akuades yang belum mengendap untuk kemudian dikeringkan dengan cara dioven. Berikut merupakan gambar dari proses tersebut.



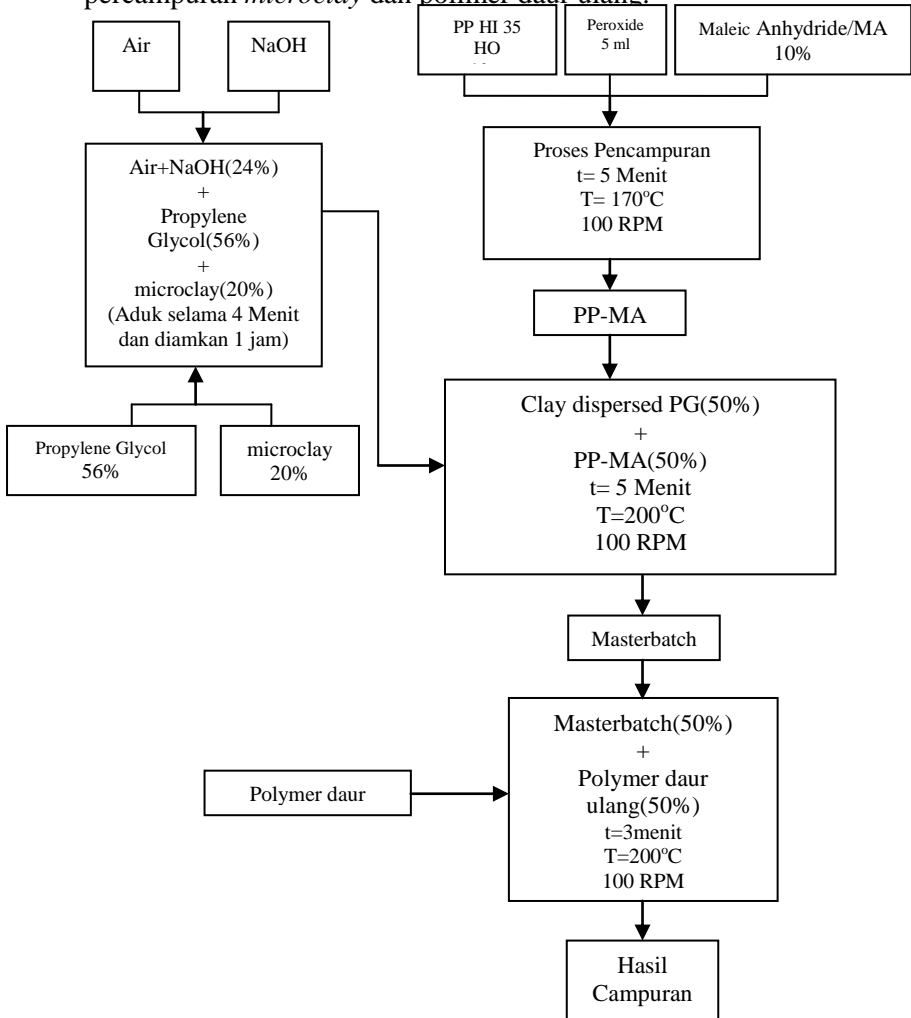
Gambar 3.2 Proses pengendapan *clay*

Setelah itu, serbuk *clay* yang telah kering digerus selama 10 jam, dan jadilah serbuk *clay* yang akan digunakan dalam percobaan. Setelah serbuk *clay* dibuat, maka dilakukan uji PSA dan FTIR. Uji PSA dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir yang didapatkan dari proses tersebut. Sedangkan uji FTIR dimaksudkan untuk mengetahui gugus senyawa yang terkandung dari bahan *clay* yang digunakan. Selanjutnya sampel *clay* diuji PSA untuk mengetahui ukuran partikel yang didapat. Untuk ukuran partikel *clay* 74 μm , didapatkan dengan menyaring serbuk *clay* dengan saringan berukuran 200 mesh.

3.4 Percampuran *Microclay* dan Polimer Daur Ulang

Pada percampuran ini telah divariasikan konsentrasi *microclay* yang digunakan dan divariasikan pula ukuran *microclay* yang digunakan dalam pembuatan komposit yaitu 1 μm

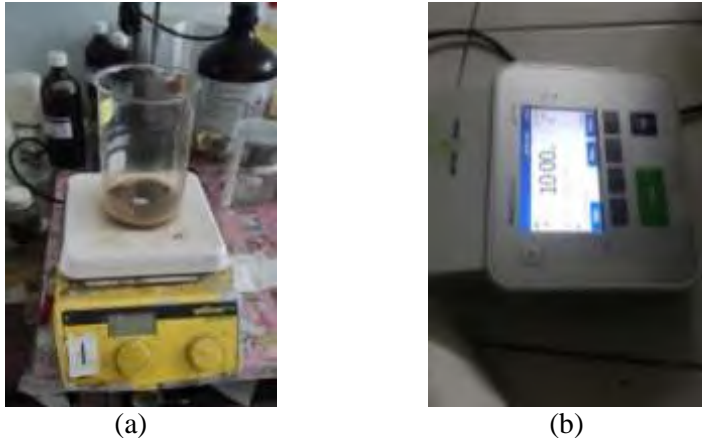
dan ukuran partikel 74 μm . Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pada konsentrasi dan ukuran partikel berapa akan dihasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik dan termal yang terbaik. Berikut merupakan *flowchart* dari percampuran *microclay* dan polimer daur ulang.



Gambar 3.3 Metode percampuran *microclay* dan polimer daur ulang

Hal yang pertama dilakukan dalam percampuran ini yaitu pembuatan kompatibilizer PP-MA. Pembuatan PP-MA ini dilakukan dengan mencampurkan PP HI 35 HO sebanyak 90% total berat yang dihasilkan, hidrogen peroksida sebanyak 5 ml dan Maleic Anhydride sebanyak 10% dari total berat yang dihasilkan. Proses percampurannya dilakukan pada suhu 170 °C dengan kecepatan putar pengadukan yaitu 100 RPM serta waktu pengadukan selama 5 menit dihitung dari melelehnya PP HI 35 HO. Setelah selesai percampuran, maka PP-MA didinginkan terlebih dahulu.

Hal yang selanjutnya dilakukan yaitu pembuatan *microclay* yang dikondisikan. Pembuatan ini dilakukan dengan mencampur *microclay* yang telah ditentukan konsentrasinya yaitu pada 3%, 5% dan 8 % berat total spesimen jadi dengan *propylene glycol* sebanyak 56 % dari berat campuran total *microclay* yang dikondisikan dan ditambahkan aquades sebanyak 24 % dari berat campuran total *microclay* yang dikondisikan. Campuran tersebut kemudian diaduk sambil dipanaskan pada suhu 50 °C selama 4 menit. Kemudian, larutan tersebut ditambahkan NaOH hingga pHnya menjadi 10. Penambahan NaOH ini dimaksudkan agar larutan tersebut menjadi basa dan dalam kondisi basa, ikatan struktur molekul *clay* akan mengalami perenggangan sehingga pada saat dicampurkan dengan polimer akan terjadi ikatan yang kuat. Untuk dapat merenggangkan struktur molekulnya, maka diperlukan waktu setelah dilakukan pembasaan. Oleh karena itu, setelah terbentuk larutan *microclay* yang dikondisikan, maka harus didiamkan selama 1 jam untuk kemudian diproses dalam percampurannya dengan bahan lainnya. Berikut merupakan gambar dari proses tersebut.



Gambar 3.4 Proses pembuatan larutan *microclay* yang dikondisikan
 (a) Proses pengadukan dan pemanasan larutan
 (b) Proses penambahan NaOH hingga pH 10

Setelah didiamkan selama 1 jam, kemudian larutan tersebut dicampurkan dengan PP-MA yang telah dibuat sebelumnya. Proses pencampuran ini dilakukan dengan mencampurkan PP-MA dan larutan yang telah dibuat dengan perbandingan 1:1 pada suhu 200 °C dengan kecepatan putar pencampuran 100 RPM selama 5 menit setelah PP-MA meleleh. Setelah itu dimasukkan polimer daur ulang dengan perbandingan 1:1 dengan campuran PP-MA dan larutan *microclay* yang telah dibuat. Hasil dari campuran tersebut kemudian dibentuk sesuai dengan kebutuhan pengujian.

3.5 Karakterisasi Sampel

Dynamic Mechanical Spectrometer (DMS) atau lebih dikenal dengan *Dynamic Mechanical Analysis* (DMA) adalah salah satu uji polimer yang berfungsi mengukur viskoelastik suatu sampel yang diukur sebagai fungsi frekuensi, waktu, suhu, tegangan, regangan dan lingkungan. Sampel komposit polimer dibentuk plat dengan ukuran 5 mm x 5 mm x 2 mm, agar sesuai dengan spesifikasi sampel untuk pengujian DMA.

Penggunaan DMA khususnya pengukuran stress sinuisoidal dan strain dalam suatu material, memudahkan dalam pengukuran modulus yang kompleks. Variasi pada modulus kompleks dapat terjadi akibat perubahan suhu ataupun frekuensi. Keadaan tersebut sangat berguna dalam penentuan transisison glass (T_g) dari suatu materi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan antara sifat yang didapatkan tiap spesimen uji. Sifat sifat yang dibandingkan adalah sifat mekanik dengan pengujian tarik, dan sifat termal yang dilihat dari titik lelehnya. Dibandingkan pula massa jenis terukur untuk masing–masing spesimen uji. Setelah itu, kemudian data tersebut dianalisa sesuai dengan hasil yang didapatkan.

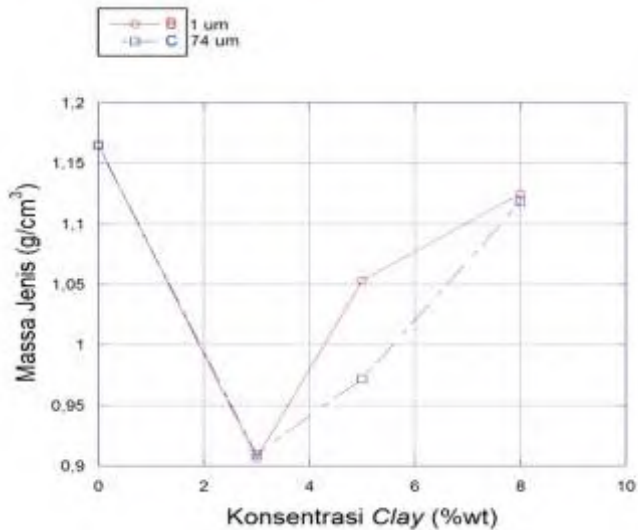
4.1 Hasil Pengujian Massa Jenis

Berikut merupakan data dari sampel uji yang berupa dimensi serta beratnya.

Tabel 4.1 Data dan Hasil Perhitungan Massa Jenis Spesimen Uji

No	Jenis	% Clay	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm ³)	Berat (g)	Massa Jenis (g/cm ³)
1	PP	0	2.2	1.8	0.8	3.168	2.7	0.852
2	PP daur ulang	0	2.2	2	0.8	3.520	4.1	1.165
3	1μ	3	2	2	0.8	3.200	2.9	0.906
		5	2	1.9	0.8	3.040	3.2	1.053
		8	2	2	0.8	3.200	3.6	1.125
4	74 μm	3	2.2	2	0.7	3.080	2.8	0.909
		5	2	1.8	0.8	2.880	2.8	0.972
		8	2	1.9	0.8	3.040	3.4	1.118

Dari data yang telah didapatkan, maka dapat dibuat grafik sebagai berikut.

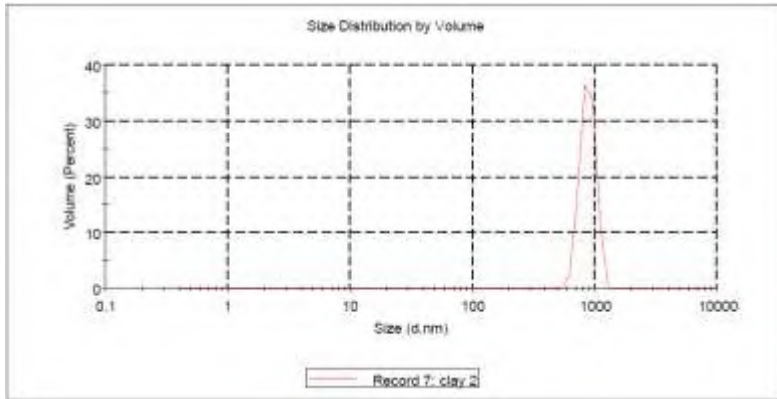


Gambar 4.1 Garfik perbandingan konsentrasi *clay* dan ukuran *clay* terhadap massa jenisnya

Dari data didapatkan massa jenis PP adalah 0.852 g/cm^3 , sedangkan massa jenis PP daur ulang adalah 1.165 g/cm^3 . Hal ini menyatakan bahwa setelah didaur ulang PP akan mengalami peningkatan massa jenis. Peningkatan massa jenis ini terjadi karena telah dilakukan penambahan bahan-bahan lain yang massa jenisnya lebih besar dari PP pada saat membuat produk PP yang kemudian digunakan sebagai bahan dalam tugas akhir ini.

4.2 Hasil Karakterisasi PSA dan FTIR

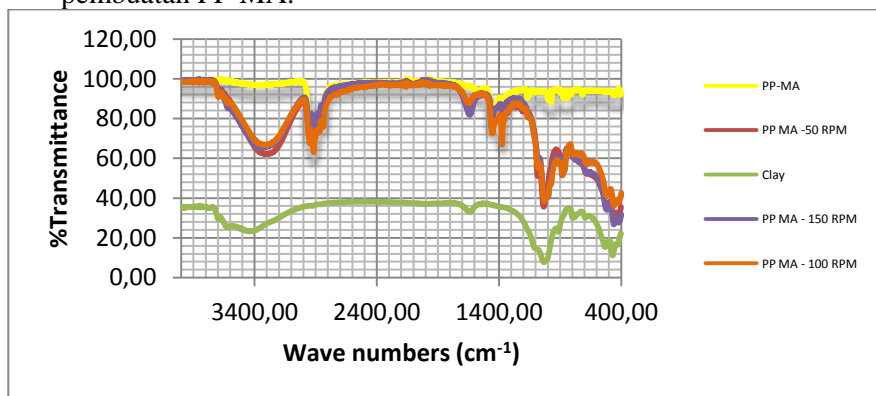
Berikut merupakan hasil dari pengujian PSA yang telah dilakukan.



Gambar 4.2 Distribusi ukuran hasil PSA

Pada pengujian PSA dapat diketahui ukuran partikel dan distribusinya. Dari hasil pengujian PSA yang telah dilakukan diketahui bahwa ukuran partikel rata-rata yang didapatkan yaitu 1.063 μm dengan distribusi seperti pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 tersebut hanya muncul 1 peak yang berarti hanya ada satu jenis partikel yang terdeteksi yaitu *clay*.

Berikut merupakan hasil dari uji FTIR yang telah dilakukan untuk mengetahui gugus ikatan kimia yang terdapat di dalam *clay*, dan variasi kondisi kecepatan putar pengadukan dalam pembuatan PP-MA.

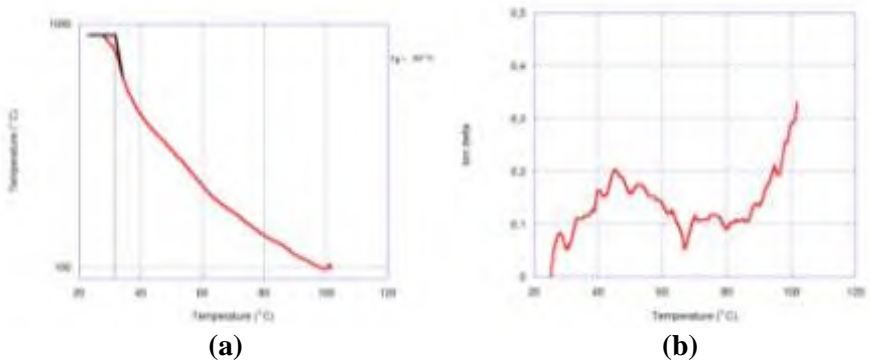


Gambar 4.3 Hasil pengujian FTIR beberapa jenis sampel

Dari data FTIR dapat dianalisis bahwa terdapat munculnya peak baru pada percampuran PP-MA dengan *clay*. Dari perbandingan grafiknya juga dapat terlihat bahwa peak baru yang muncul merupakan perpaduan antara peak dari *clay* dan peak dari PP-MA. Spesifik peak yang dihasilkan dari pengujian FTIR untuk PP-MA adalah peak 1650-1740^[12]. Hal ini menyatakan bahwa pada variasi kecepatan putaran percampuran PP-MA dan *Clay* untuk 100 RPM telah terjadi ikatan.

4.3 Hasil Pengujian *Dynamic Mechanical Analysis*

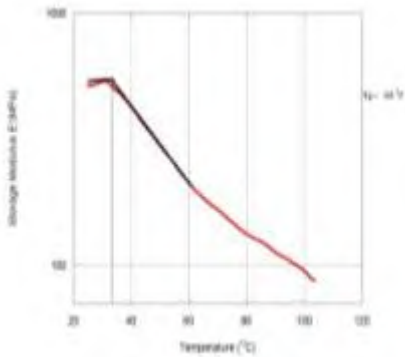
Berikut merupakan data hasil dari pengujian DMA.



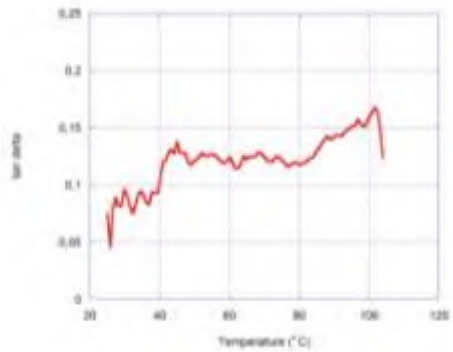
Gambar 4.4 Hasil pengujian DMA PP

(a) *Storage modulus*-Temperatur,

(b) $\tan \delta$ –Temperatur

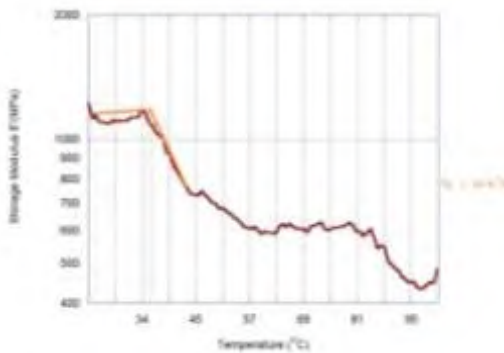


(a)

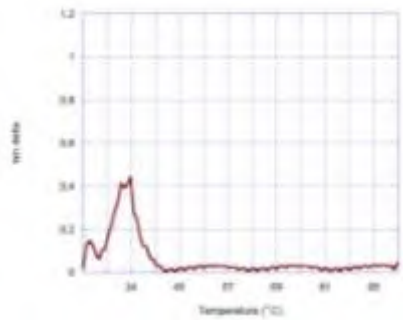


(b)

Gambar 4.5 Hasil pengujian DMA PP daur ulang
(a) *Storage modulus*-Temperatur,
(b) *Tan δ* -Temperatur

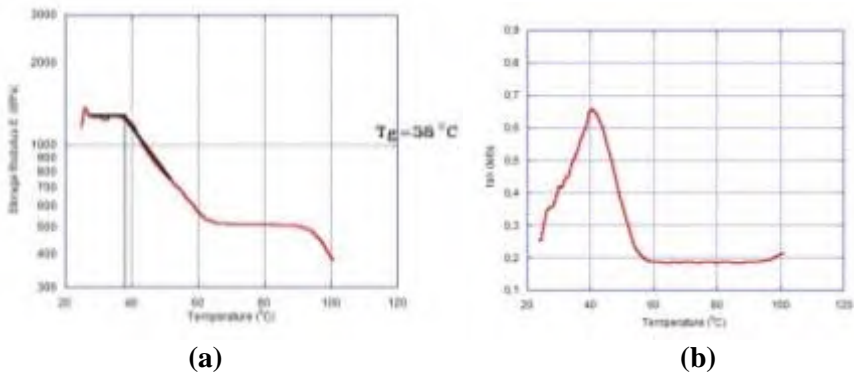


(a)



(b)

Gambar 4.6 Hasil pengujian DMA *clay 3%, 1 μ m*
(a) *Storage modulus*-Temperatur,
(b) *Tan δ* -Temperatur



Gambar 4.7 Hasil pengujian DMA *clay* 3%, 74 μm
 (a) *Storage modulus*-Temperatur,
 (b) *Tan δ* -Temperatur

Data diatas merupakan data hasil pengujian DMA untuk sampel yang telah dibuat. Terdapat masing-masing 2 grafik untuk setiap sampel, dimana grafik tersebut menyatakan *storage modulus* (E') terhadap temperatur dan $\tan \delta$ terhadap temperatur. Data diatas digunakan untuk mencari nilai temperatur glass, dimana temperatur glass ini akan menjadi acuan untuk penentuan sifat termal dari sampel yang diuji.

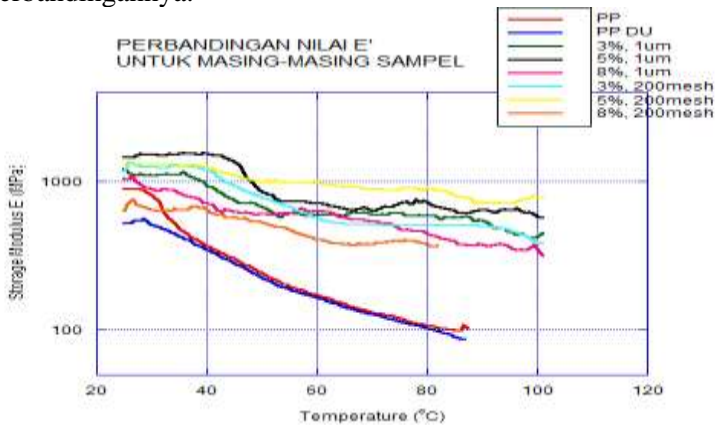
Temperatur glass merupakan batas temperatur yang memisahkan fasa untuk material. Dibawah temperatur glass merupakan fasa solid dari material, sedangkan diatas temperatur glass merupakan fasa *rubber* sebelum sampai pada titik lelehnya. Penentuan temperatur glass dilakukan dengan menganalisis grafik hasil pengujian di atas sesuai dengan standar ASTM D7028. Penentuan temperatur glass dapat diketahui dengan melihat penurunan nilai *storage modulus* (E') yang terjadi secara tiba-tiba. Cara lainnya untuk menentukan temperatur glass adalah dengan melihat peak yang terjadi pada grafik $\tan \delta$ terhadap temperturnya. $\tan \delta$ merupakan perbandingan antara *loss modulus* dan *storage modulus*, maka ketika *storage modulus* mengalami penurunan akan terjadi peningkatan nilai $\tan \delta$.

Berikut merupakan nilai T_g dari sampel yang telah diuji berdasarkan grafik diatas.

Tabel 4.2 Nilai Tg Masing-masing Sampel

Jenis Sampel	Tg(°C)	Storage Modulus (MPa)
PP	32	899,398
PP DU	33	649,32
3%, 1µm	38,8	1110,413
5%, 1µm	43	1535,84
8%, 1µm	40	1056,729
3%, 74 µm	38	1286,842
5%, 74 µm	39	1308,401
8%, 74 µm	48	737,764

Berdasarkan tabel diatas, maka nilai Tg paling kecil yaitu pada PP dengan nilai Tg adalah 32°C, sedangkan nilai Tg paling besar yaitu pada sampel komposit dengan variasi *clay* 8% dengan ukuran partikel 74 µm. Nilai Tg terbesar pada ukuran partikel *clay* 1µm adalah pada konsentrasi *clay* 5%. Untuk ukuran partikel *clay* 74 µm, nilai Tg cenderung naik untuk penambahan konsentrasi *clay* yang diberikan. Peningkatan sifat mekanik dari material juga dapat diketahui dari hasil DMA tersebut yang dilihat dari nilai *storage modulus*nya. Berikut merupakan grafik perbandingannya.

**Gambar 4.8** Perbandingan nilai *storage modulus* pada sampel uji.

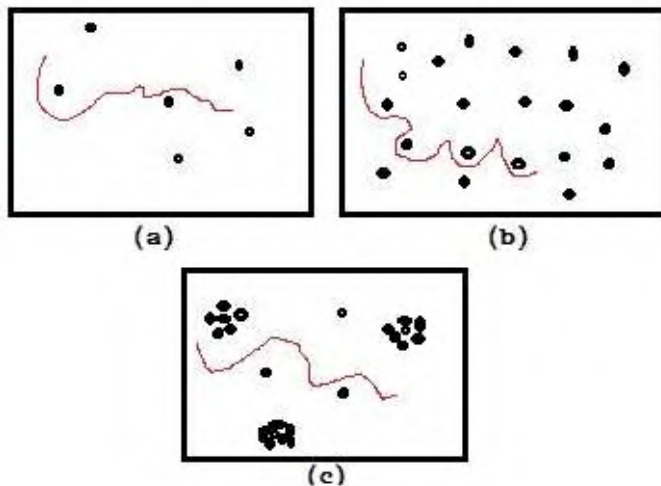
Dari grafik perbandingan di atas diketahui bahwa nilai *storage modulus* terbesar yaitu pada sampel dengan variasi *clay* 5% dengan ukuran partikel 1 μm dan 74 μm . Dari data diatas juga diketahui bahwa dengan penambahan *clay*, maka akan meningkatkan sifat mekaniknya yang terlihat dengan meningkatnya nilai *storage modulus*nya. Jika dilihat berdasar ukuran partikelnya, maka ukuran partikel 1 μm akan menghasilkan nilai *storage modulus* yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran 74 μm . Dengan ukuran yang lebih kecil, maka luasan kontak akan semakin besar, hal ini menyebabkan semakin ukuran partikel kecil, maka sifat mekaniknya akan meningkat.

4.4 Pembahasan

Pada pengujian massa jenis jika dilihat dari gambar 4.1, maka semakin konsentrasi *clay* ditambahkan pada komposit polimer, maka massa jenisnya akan bertambah. Hal ini menyatakan bahwa semakin bertambahnya kandungan *clay* yang ada dalam komposit tersebut. Hal ini juga menyatakan bahwa massa jenis *clay* lebih besar dari massa jenis polimer daur ulang. Dengan volume yang tetap, serta penambahan salah satu konsentrasi bahan yaitu *clay* akan menghasilkan berat yang lebih besar, maka dapat dikatakan bahwa memang massa jenis *clay* lebih besar dari massa jenis PP daur ulang. Akan tetapi berdasarkan data yang diperoleh untuk berat keseluruhan kompositnya lebih rendah dari berat PP daur ulang.

Dari hasil pengujian DMA ada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa dengan penambahan *clay* pada PP daur ulang akan meningkatkan sifat mekaniknya, ini dapat dilihat dengan meningkatnya nilai Tg. Hal ini dapat terjadi karena sifat dari *clay* yang tahan terhadap temperatur. Jika dilihat pada ukuran partikel 1 μm , maka nilai Tg tertinggi yaitu pada variasi *clay* 5 %. Hal ini berarti peningkatan sifat termalnya terjadi hanya sampai penambahan konsentrasi *clay* tertentu saja. Pada hasil pengujian didapatkan hasil bahwa pada konsentrasi *clay* 5%, didapatkan hasil terbaik untuk sifat mekaniknya, hal ini karena pada saat konsentrasi tersebut merupakan batas penambahan konsentrasi *clay* untuk mendapatkan sifat uji mekanik yang terbaik bagi material komposit. Hal ini disebabkan penyebaran yang merata

pada matriks polimernya, sedangkan jika dengan konsentrasi yang lebih tinggi, maka dimungkinkan akan terjadi aglomerasi yang akan mengakibatkan terjadinya penurunan sifat mekaniknya. Peningkatan kekuatan material komposit tersebut berkaitan dengan dislokasi yang terjadi. Ketika material diuji, maka material diberikan gaya dengan frekuensi tertentu. Hal ini akan menyebabkan terjadinya dislokasi yang akan terus bergerak. Penguatan material tergantung dari laju dislokasinya. Material akan menjadi semakin kuat jika laju dislokasinya terhambat. Terhambatnya laju dislokasi pada material komposit ini dapat diakibatkan oleh dislokasi yang tidak dapat menembus *clay* sebagai *filler* dari komposit. Proses pergerakan dislokasi ini dapat dilihat pada gambar berikut.

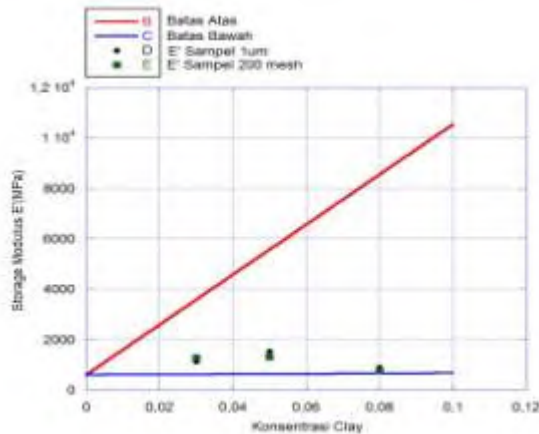


Gambar 4.9 Pergerakan laju dislokasi pada sampel dengan variasi konsentrasi *clay* yang diberikan.

- (a) Pergerakan dislokasi pada konsentrasi *clay* 3%
- (b) Pergerakan dislokasi pada konsentrasi *clay* 5%
- (c) Pergerakan dislokasi pada konsentrasi *clay* 8%

Gambar 4.9 merupakan pergerakan dislokasi pada masing-masing konsentrasi *clay* yang diberikan. Pada konsentrasi *clay* 3%, dislokasi hanya sedikit terhambat karena jumlah partikel yang *clay* yang sedikit sehingga masih memungkinkan dislokasi bergerak bebas. Pada konsentrasi *clay* 5%, persebaran partikel merata dan memiliki jumlah partikel yang lebih banyak sehingga pada konsentrasi ini laju dislokasi akan terhambat. Hal ini menyebabkan material tersebut menjadi lebih kuat. Untuk konsentrasi *clay* 8%, seharusnya akan memiliki sifat yang lebih kuat dari konsentrasi *clay* 5%, akan tetapi kekuatannya justru mengalami penurunan. Penurunan kekuatan material ini ditunjukkan pada gambar 4.10. Dilihat dari gambar tersebut pada konsentrasi 8% terjadi penurunan kekuatan. Penurunan kekuatan ini dapat terjadi karena terbentuknya aglomerasi yang akan menyebabkan *clay* yang tersebar pada polimer akan mengalami penggerombolan pada suatu tempat. Hal ini akan menyebabkan jarak antar persebaran *clay* menjadi semakin jauh, sehingga dislokasi akan mudah bergerak dan mengakibatkan kekuatannya menurun.

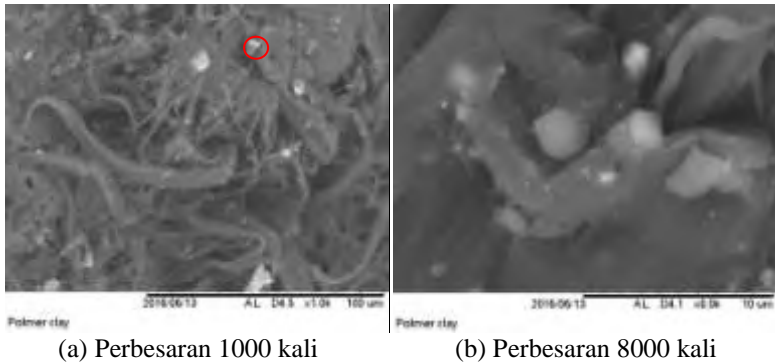
Dari hasil pengujian DMA juga didapatkan nilai *storage modulus* E' untuk masing-masing sampel. Nilai E' ini seharusnya masuk ke daerah *rule of mixtures* dari komposit, dimana dengan nilai E' untuk polimer daur ulang 600 MPa dan nilai E' untuk *Clay* adalah 100000 MPa (Spriggs & Brissette 1962, Morrell 1987), maka didapatkan grafik berikut.



Gambar 4.10 Batas atas dan batas bawah dari percampuran polimer komposit

Dari gambar 4.10, dapat diketahui bahwa nilai *storage modulus* untuk semua sampel komposit berada pada daerah diantara batas atas dan batas bawah. Hal ini berarti *storage modulus* yang dihasilkan telah memenuhi *rule of mixtures*nya. Penempatan nilai E' ini berada di dekat batas bawahnya, ini berarti bahwa sifat mekanik untuk sampel yang dihasilkan mendekati dengan polimer daur ulangnya. Hal ini dapat terjadi karena polimer daur ulang yang berperan sebagai matriks dari komposit tersebut, sehingga sifat-sifatnya pun akan lebih mendekati matriksnya yaitu polimer daur ulang.

Untuk mengetahui komposisi komposit dapat dilihat dengan menggunakan gambar SEM. Berikut merupakan gambar SEM dari spesimen uji yang telah terbantuk.

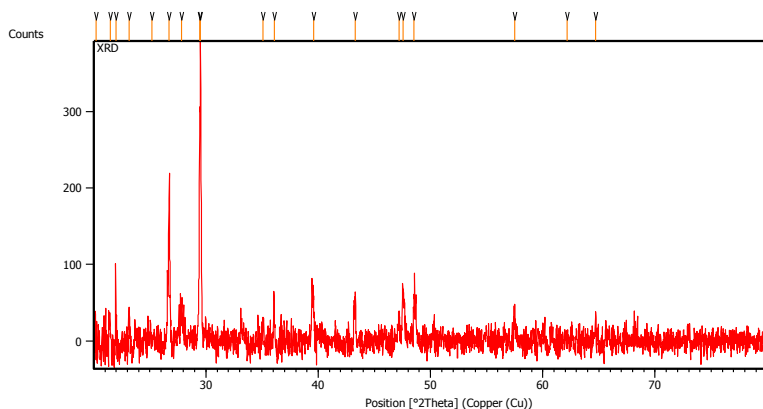


Gambar 4.11 Gambar hasil SEM komposit yang terbentuk
(a) SEM perbesaran 1000 kali, (b) SEM perbesaran 8000 kali

Berdasarkan gambar SEM diatas dapat terlihat bahwa gambar serabut merupakan polimer daur ulang, sedangkan gambar putih yang tersebar bisa berupa *clay*, karbon, atau debu yang tersebar dalam matriks polimer. Diperlukan analisis komposisi lebih lanjut untuk mengetahui komposisi yang terjadi dalam komposit tersebut.

LAMPIRAN A

HASIL PENGUJIAN XRD CLAY



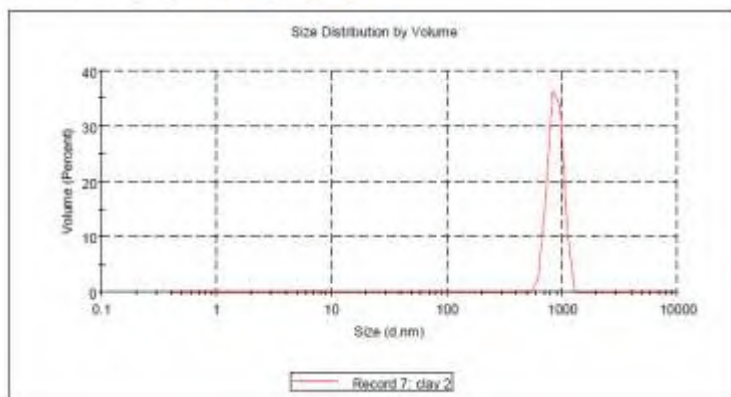
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.2207	104.01	0.2007	4.39170	26.62
21.4723	79.99	0.8029	4.13844	20.47
21.9679	162.20	0.0502	4.04619	41.51
23.1401	68.78	0.1004	3.84382	17.60
25.2037	36.92	0.8029	3.53357	9.45
26.7232	204.61	0.1004	3.33601	52.36
27.8260	45.67	0.4015	3.20625	11.69
29.4305	287.79	0.0612	3.03249	73.64
29.5166	390.79	0.0669	3.02635	100.00
35.0649	61.37	0.2007	2.55916	15.70
36.0692	93.38	0.1004	2.49018	23.89
39.5889	49.70	0.2342	2.27652	12.72
43.3159	61.96	0.2007	2.08889	15.85
47.2095	35.00	0.1673	1.92530	8.96
47.5339	69.93	0.1673	1.91291	17.89
48.5394	62.10	0.1673	1.87561	15.89
57.5141	25.44	0.2676	1.60246	6.51
62.1471	34.73	0.8029	1.49367	8.89
64.7232	20.21	0.4015	1.44030	5.17

LAMPIRAN B

HASIL PENGUJIAN PSA

Results

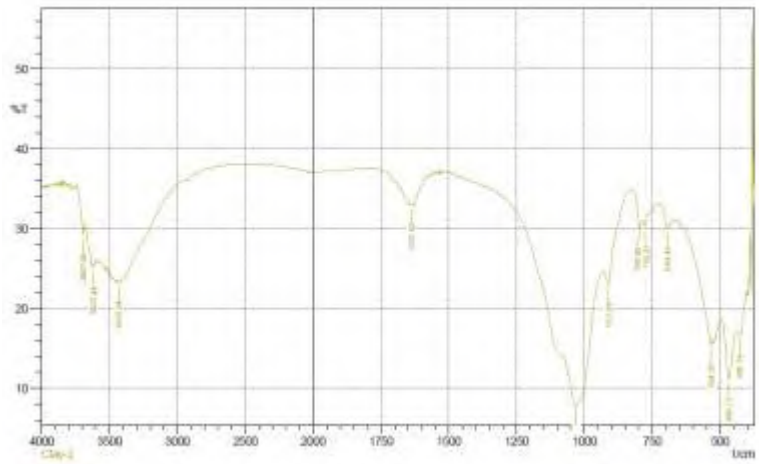
	Size (d.n...	% Volume:	St Dev (d.n...
Z-Average (d.nm): 1054	Peak 1: 876.4	100.0	122.6
Pd: 0.926	Peak 2: 0.000	0.0	0.000
intercept: 0.913	Peak 3: 0.000	0.0	0.000
Result quality Refer to quality report			



LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN FTIR

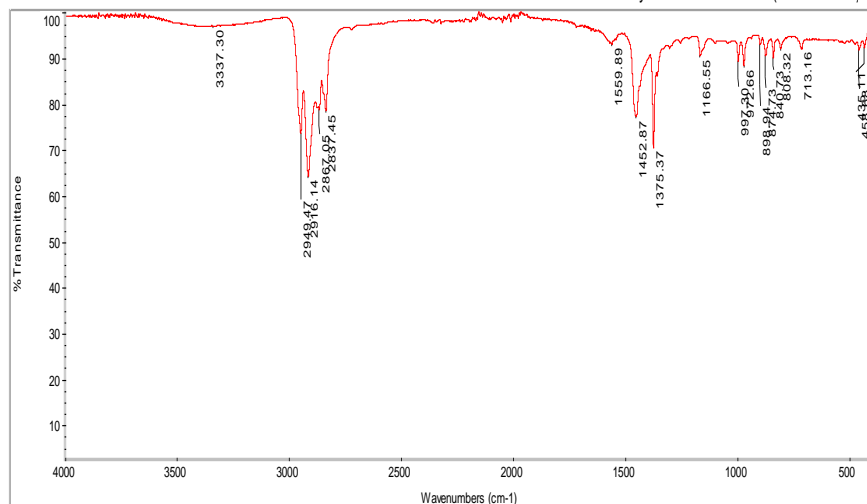
A. FTIR *CLAY*



B. FTIR PP

Title: FTIR

Wed May 25 07:57:47 2016 (GMT+07:00)



Collection time: Wed May 25 07:56:51 2016 (GMT+07:00)

Spectrum: FTIR

Region: 3495.26-455.13

Search type: Correlation

Wed May 25 07:57:30 2016 (GMT+07:00)

Find Peaks:

Spectrum: FTIR
Region: 3495.26-455.13
Resolution: 400.17
Sensitivity: 97.339

Peak list:

Position	Intensity	91.704
411.81	Intensity	91.704
435.11	Intensity	92.310
458.68	Intensity	91.707
713.16	Intensity	92.042
808.32	Intensity	91.665
840.72	Intensity	89.809
874.72	Intensity	90.404
898.94	Intensity	92.865
972.66	Intensity	88.312
997.35	Intensity	89.347
1166.55	Intensity	90.363
1375.37	Intensity	70.349
1452.87	Intensity	77.141
1559.89	Intensity	92.879
2896.07	Intensity	78.258
2948.14	Intensity	78.599
2996.14	Intensity	64.024
3495.26	Intensity	73.376
3537.30	Intensity	86.625

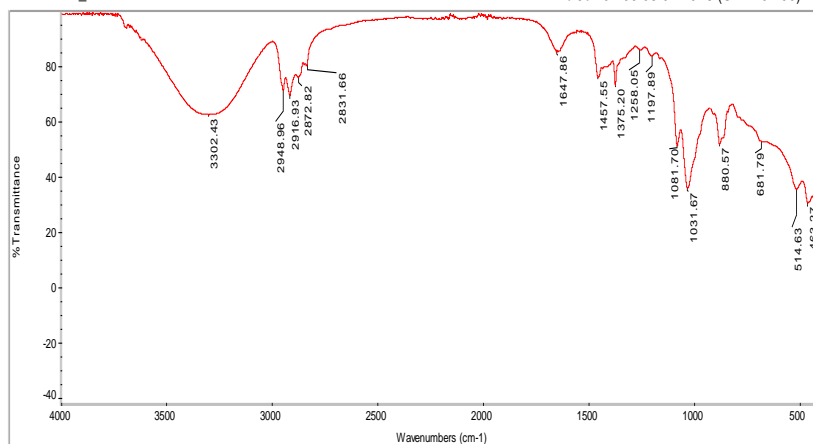
Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
324	89.72	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
41	88.64	POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
942	88.11	Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
17997	87.46	Polypropylene, isotactic, average MW ca. 250,000	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
566	84.97	Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
737	84.85	Polypropylene	HR Nicolet Sampler Library
38	83.54	POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
975	83.24	Polypropylene + Vistaion 404, 1:1	HR Hummel Polymer and Additives
624	83.13	Polypropylene+poly(ethylene:propylene)	HR Nicolet Sampler Library
322	82.07	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives

C. FTIR PP-MA 50 RPM

Title: RPM_50

Thu Jun 02 09:03:04 2016 (GMT+07:00)



Collection time: Thu Jun 02 09:01:35 2016 (GMT+07:00)

Spectrum: RPM_50

Thu Jun 02 09:02:20 2016 (GMT+07:00)

Region: 3495.26-455.13

FIND PEAKS:

Search type: Correlation

Spectrum: RPM_50

Region: 4000.00

Absolute threshold: 98.046

Sensitivity: 50

Peak list:

Position	Intensity
463.27	30.177
514.63	35.231
880.57	51.474
1031.67	35.669
1081.70	51.131
1375.20	72.934
1457.55	75.797
1647.86	84.944
2916.93	69.255
2949.96	71.149
3302.43	62.223

Hit List:

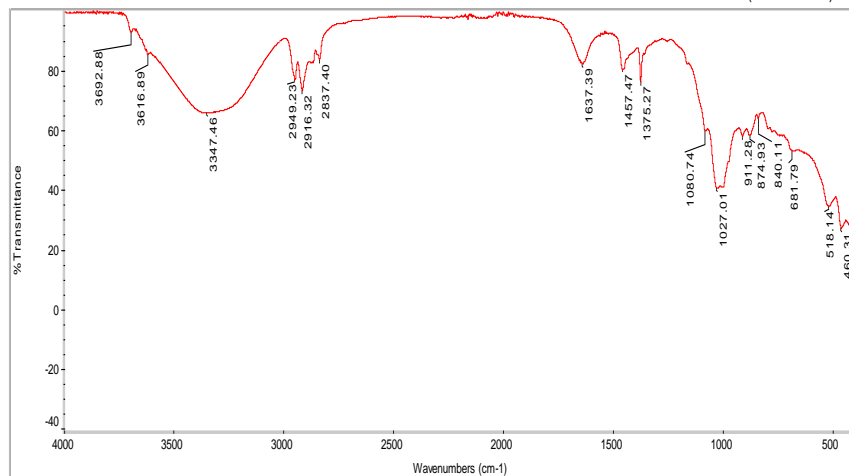
Index	Match	Compound name
726	61.15	Ethylene glycol, 99+%
9	59.32	Ethylene Glycol (Transmission Cell)
2115	58.99	N-Methyldiethanolamine, 99%
1812	54.35	Triethanolamine
2118	53.87	Triethanolamine, 98%
979	52.80	2-Fluoroethanol, 95%
1228	52.49	Triethanolamine
244	51.68	Ethylene glycol
247	49.49	2-Fluoroethanol
2141	48.24	N,N,N'-Tetrakis(2-hydroxyethyl)-ethylenediamine

Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
User Example Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Hummel Polymer and Additives
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Hummel Polymer and Additives
HR Nicolet Sampler Library
HR Nicolet Sampler Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

E. FTIR PP-MA 150 RPM

Title: RPM_150

Thu Jun 02 08:54:38 2016 (GMT+07:00)



Collection time: Thu Jun 02 08:52:09 2016 (GMT+07:00)

Thu Jun 02 08:53:52 2016 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: RPM_150

Region: 4000.00 400.00

Absolute threshold: 97.674

Sensitivity: 50

Peak list:

Position:	460.31	Intensity:	26.764
Position:	518.14	Intensity:	34.132
Position:	911.28	Intensity:	57.749
Position:	1027.01	Intensity:	40.164
Position:	1375.27	Intensity:	75.905
Position:	1457.47	Intensity:	79.962
Position:	1637.39	Intensity:	81.823
Position:	2837.40	Intensity:	83.435
Position:	2916.32	Intensity:	73.110
Position:	2949.23	Intensity:	76.535
Position:	3347.46	Intensity:	65.425

Spectrum: RPM_150

Region: 3495.26-455.13

Search type: Correlation

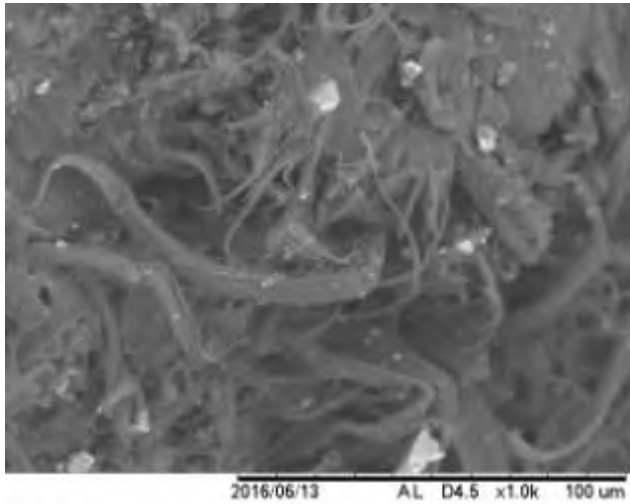
Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
303	52.77	Polypropylene + 20% talcum	HR Hummel Polymer and Additives
324	49.41	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
942	48.49	Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
17997	48.43	Polypropylene, isotactic, average MW ca. 250,000	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
603	47.64	Polypropylene + 20% talcum	HR Nicolet Sampler Library
566	46.74	Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
737	45.92	Polypropylene	HR Nicolet Sampler Library
91	45.42	ISOMALTOSE APPROX 99%	Sigma Biological Sample Library
624	45.29	Polypropylene+poly(ethylene:propylene)	HR Nicolet Sampler Library
975	45.26	Polypropylene + Vistalon 404, 1:1	HR Hummel Polymer and Additives

LAMPIRAN D

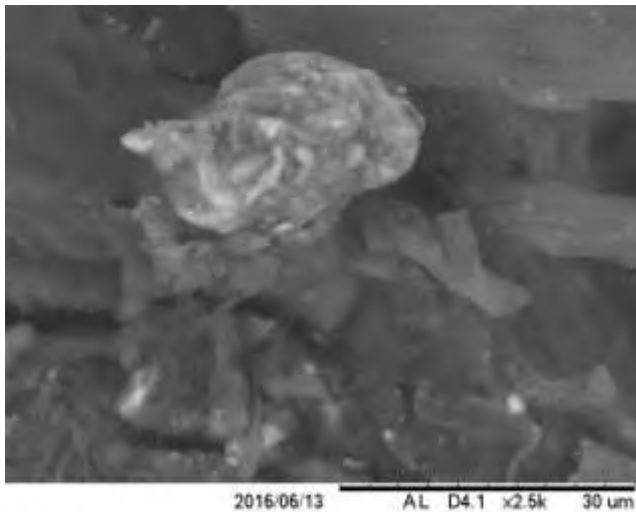
HASIL PENGUJIAN SEM

A. SEM Perbesaran 1000 Kali



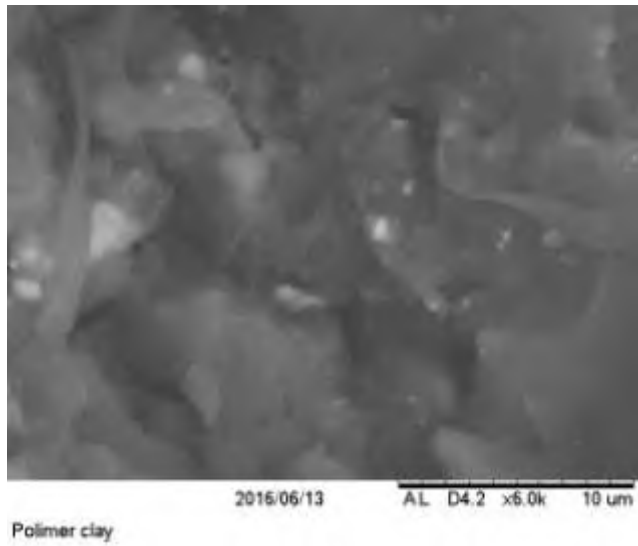
Polimer clay

B. SEM Perbesaran 2500 Kali

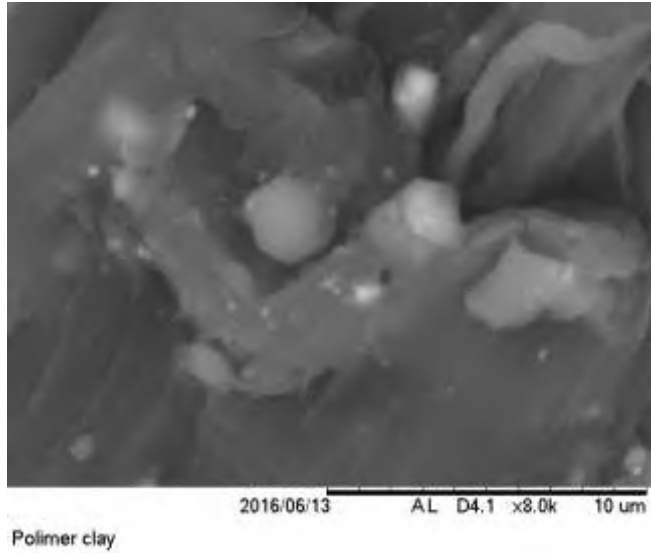


Polimer clay

C. SEM Perbesaran 6000 Kali



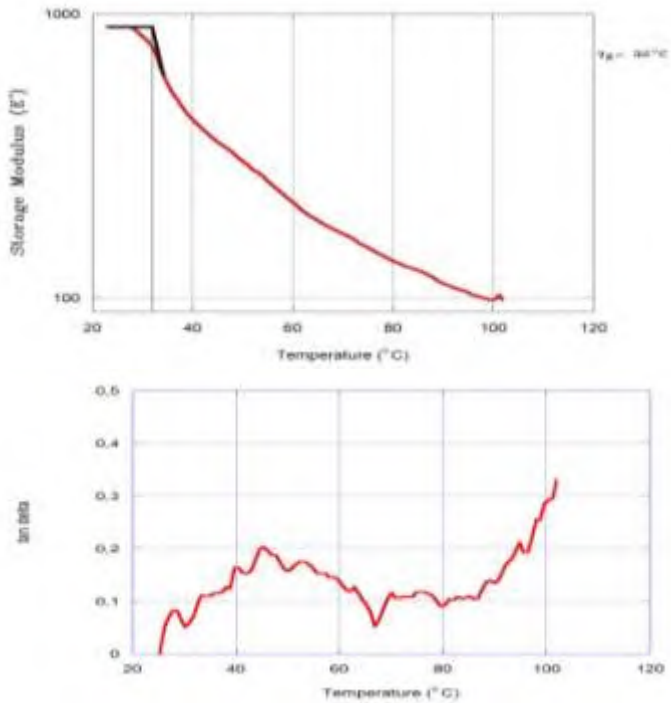
D. SEM Perbesaran 8000 Kali



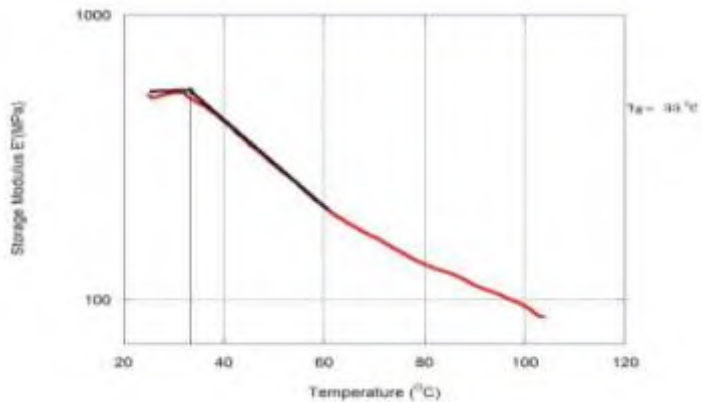
LAMPIRAN E

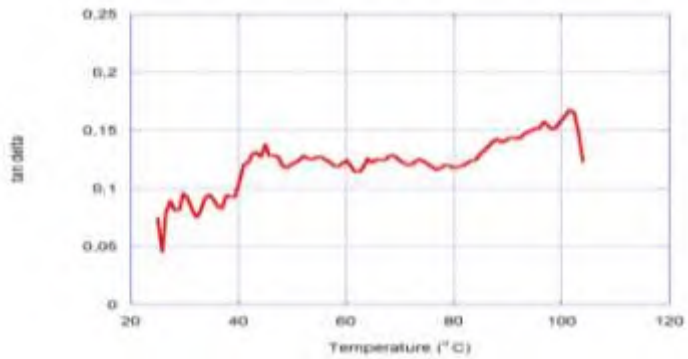
HASIL PENGUJIAN DMA

A. Hasil pengujian DMA PP

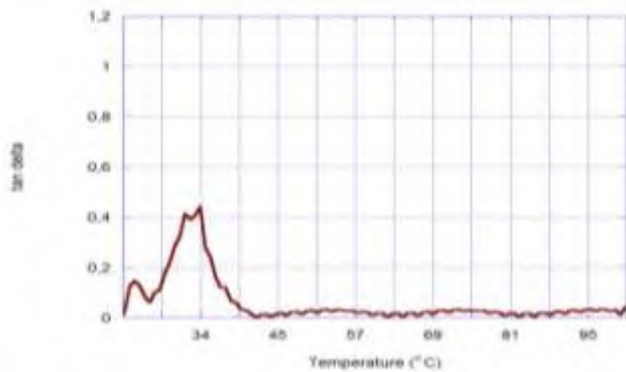
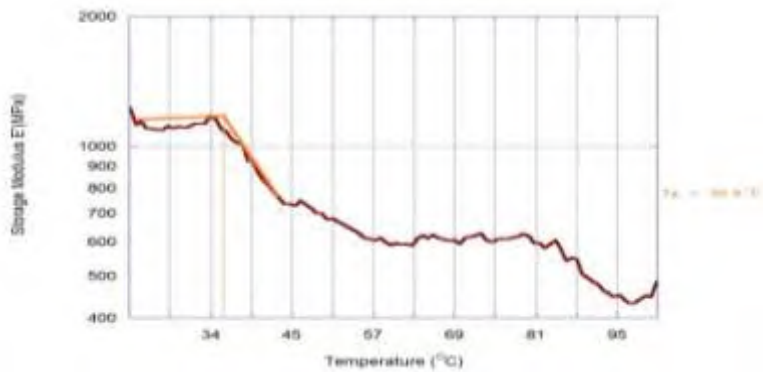


B. Hasil pengujian DMA PP DU

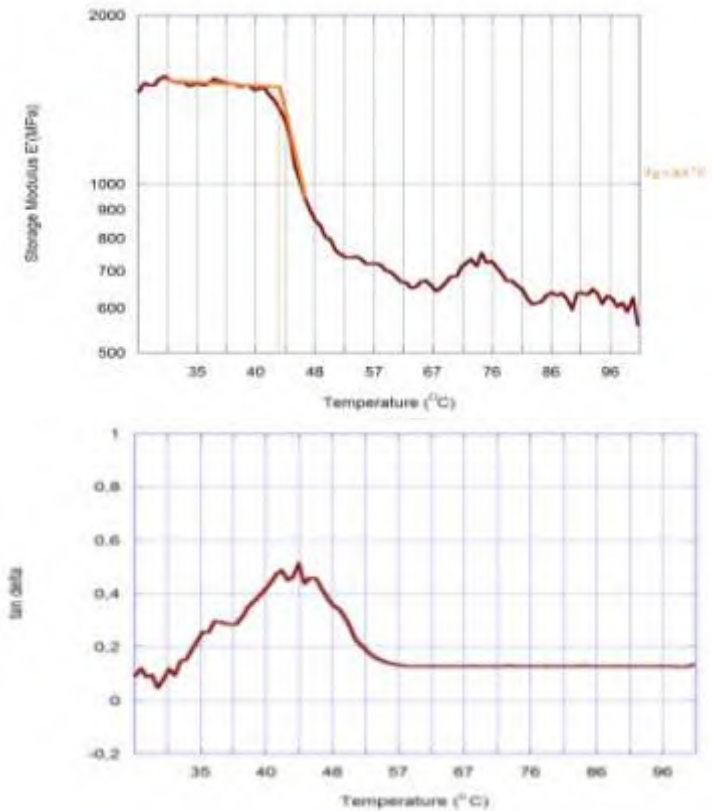




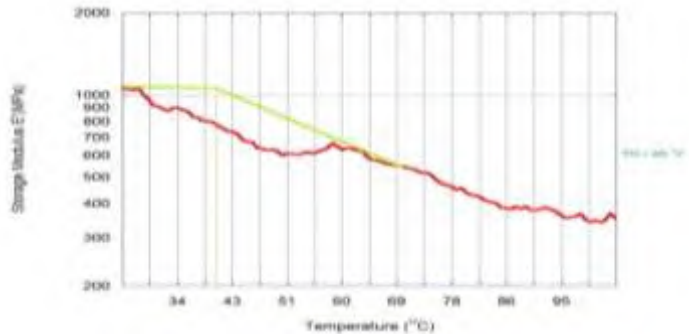
C. Hasil pengujian DMA *clay* 3%, 1µm

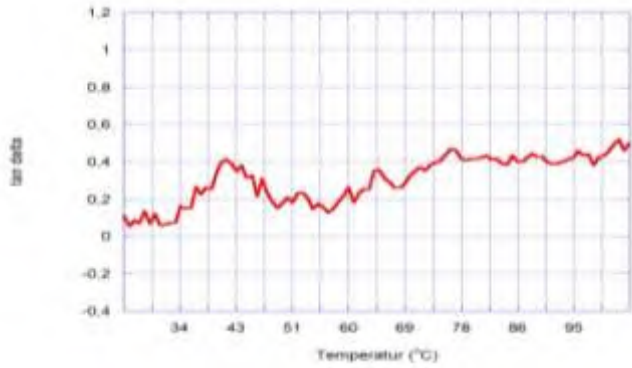


D. Hasil pengujian DMA *clay* 5%, 1 μ m

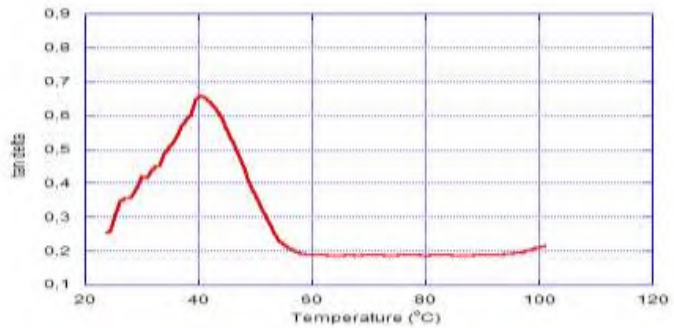
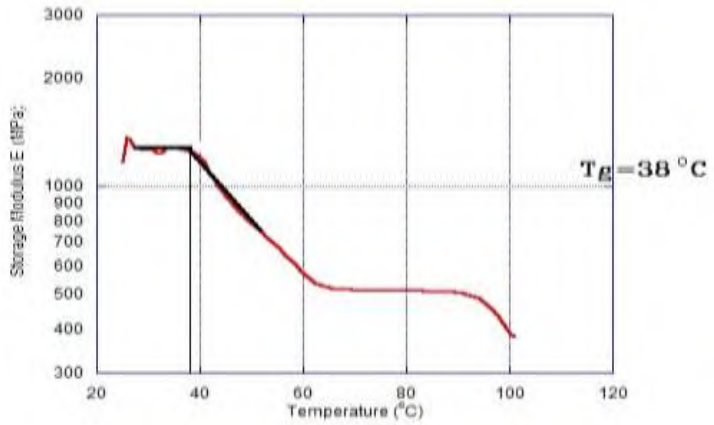


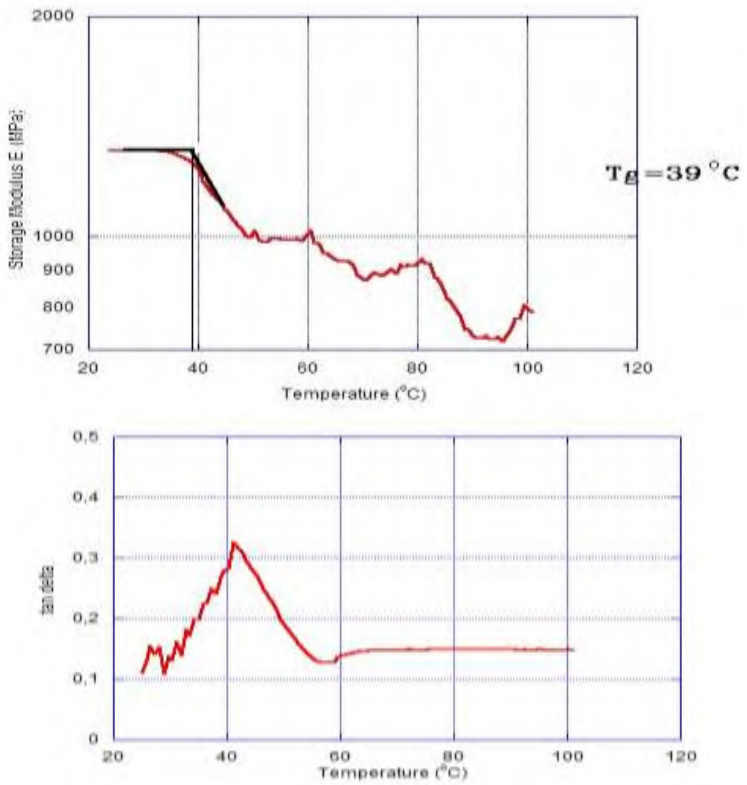
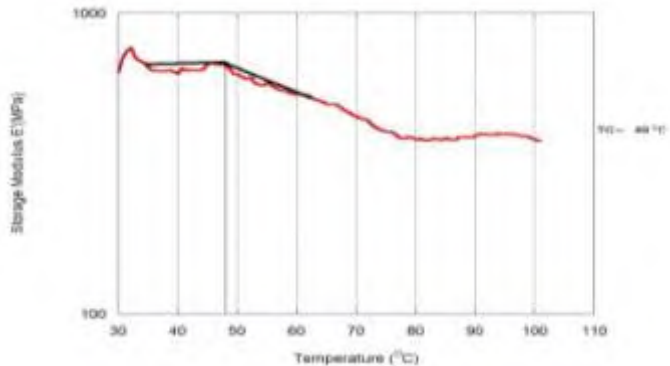
E. Hasil pengujian DMA *clay* 8%, 1 μ m

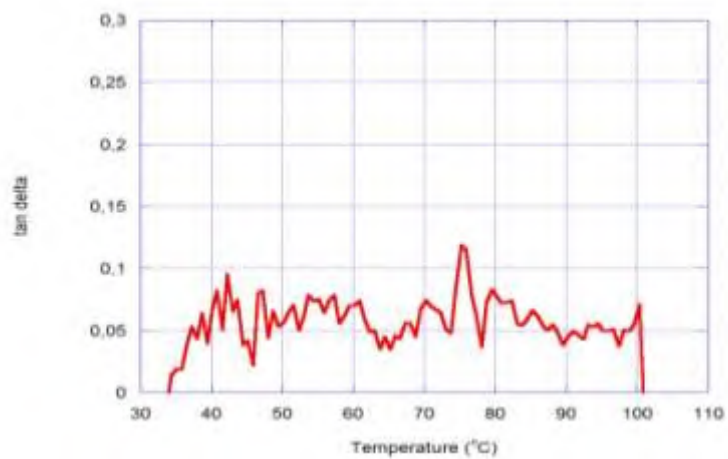




F. Hasil pengujian DMA *clay 3%, 74µm*



G. Hasil pengujian DMA *clay* 5%, 74 μ mH. Hasil pengujian DMA *clay* 8%, 74 μ m



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan *clay* ke dalam polipropilena daur ulang akan meningkatkan sifat mekanik dan sifat termalnya.
2. Sifat termal terbaik didapatkan pada penambahan konsentrasi *clay* 8% dengan ukuran partikel 74 μm dengan nilai T_g adalah 48°C.
3. Sifat mekanik terbaik diperoleh pada penambahan konsentrasi *clay* 5% pada ukuran partikel 1 μm , dilihat dari grafik perbandingan nilai storage modulusnya.

5.2 Saran

Pada penelitian ini telah dilakukan komposit polipropilena daur ulang menggunakan *microclay*. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat dibuat komposit polimer dengan *nanoclay*, agar sifat-sifatnya, terutama sifat mekanik dan sifat termalnya dapat dibandingkan dengan jika menggunakan komposit polimer *microclay*.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bernadeth Jong Hiong Jun dan Ariadne L. Juwono. 2010. Study Perbandingan Sifat Mekanik *Polypropylene* Murni dan Daur Ulang. Jurnal UI: Depok.
- [2] Sari, Eka Puspa. dkk. 2013. Optimasi Komposit dari *Nanoclay* Polistirena. Jrnal UIN: Jakarta
- [3] William D. Callister Jr and David G. Rethwisch. 2009. *Material Science and Engineering and Introduction*, 8th edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] David I. Bower. 2002. *An Introduction to Polymer Physics*. Cambridge University Press
- [5] Morgan, Alexander B dan Wilkie, Charles A. 2006. *Flame Retardant Polymer Nanocomposite*. Wiley: <http://onlinelibrary.wiley.com>
- [6] A. Sudradjat, M. Arifin, The prospect of bentonite business in Indonesia. 1996. PPTM p81: Bandung.
- [7] I. Sakurada, Y. Nukushina, T. Ito. 1962. Experimental determination of elastic modulus of crystalline regions in oriented polymers, J. Polym. Sci.
- [8] Hussain, Farzana. dkk. 2006. *Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview*. Jurnal of Composite Mateials: SAGE Publications.
- [9] Olad, Ali. 2011. *Polymer/Clay Nanocomposites*. Iran: INTECH.
- [10] H.G. Karian. 2003. Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites 2nd Ed., Marcel Dekker, Inc.:New York.
- [11] Standard Test Method for Glass Transition Temperature (DMA Tg) of Polymer Composites by Dynamic Mechanical Analysis (DMA). D 7028-07: ASTM International
- [12] A, Oromiehie. dkk. 2014. Chemical Modification of Polypropylene by Maleic Anhydride: Melt Grafting, Characterization and Mechanism. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Anggit Irawan Noviaji. Penulis dilahirkan di Kebumen pada tanggal 1 November 1993. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 2 Demangsari, SMPN 1 Ayah, dan SMAN 1 Gombang. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi ITB – Kemendag RI pada tahun 2011. Setelah lulus dari program D3, penulis melanjutkan pendidikannya ke S1 Lintas Jalur di jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS Surabaya pada tahun 2014.

Dengan semangat yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis akhirnya mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan terselesaikannya tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta pengembangan pada penelitian selanjutnya.

Email : anggit_irawan_noviaji@yahoo.co.id